

# Fundações profundas

Texto original de Juliana Nakamura  
Edição 83 - Fevereiro/2004

## Estacas pré-fabricadas

A opção é a mais utilizada quando é necessário atingir grandes profundidades. Durante a cravação, é preciso cuidado para as peças não fraturarem

*Capazes de resistir a grandes esforços de tração, as estacas metálicas podem ter seções quadradas, retangulares ou circulares*

Desde muito tempo, o homem utiliza estacas de madeira em fundações. Tanto, que prédios históricos como o Theatro Municipal do Rio de Janeiro, construído em 1905, estão apoiados há anos sobre densos troncos de madeira.

No entanto, a dificuldade de se obter madeiras de boa qualidade associada ao aumento das cargas das estruturas contribuiu para o incremento de outras tecnologias e materiais. Hoje, é ampla a diversidade de soluções para fundações profundas, desde estacas moldadas in loco, também classificadas de escavadas com relação à forma de construção (ver matéria na página 46) até elementos pré-moldados.

Produzidas fora da obra, mas sempre partindo de requisitos estabelecidos no projeto estrutural, as estacas pré-moldadas chegam praticamente prontas ao canteiro para serem cravadas, principalmente, por bate-estacas. A flexibilidade de uso, permitindo que suportem cargas de grandes e pequenas estruturas e sirvam também para reforço de fundações, é garantida pelas diferentes geometrias materiais que as compõem.

Entre as opções, as estacas constituídas por perfis e chapas de aço laminado ou soldado podem apresentar bom desempenho, seja em seções quadradas, retangulares ou circulares (tubos). O bom comportamento à compressão e à tração é a principal característica desse tipo de elemento de fundação, o que faz com que seja bastante empregado em instalações portuárias. Seja pelo efeito da maré, seja pela movimentação durante a atracação de navios, são grandes os esforços de tração. "No entanto, como grande parte das obras convencionais exige poucos esforços de tração, muitas vezes o investimento maior necessário para a aquisição de estacas de aço não se justifica", comenta a engenheira Gisleine Coelho de Campos, pesquisadora do Agrupamento de Fundações da Divisão de Engenharia Civil do IPT.

Tradicionalmente marcada como uma opção mais cara, se comparada com outras fundações pré-moldadas, hoje as estacas metálicas não têm necessariamente custo mais alto. "Novas seções em aço que diminuem o peso da estaca por metro viabilizam a competição", comenta o engenheiro Efraim Zaclis, diretor do escritório Zaclis & Falconi. Além disso, algumas construtoras adquiriram trilhos removidos de linhas férreas desativadas e estão utilizando esse material em fundações de edifícios habitacionais a custos bem baixos",

acrescenta Gisleine.

Entre os sistemas pré-fabricados para fundações profundas, há também as já mencionadas estacas de madeira, muito utilizadas no passado, mas que caíram em desuso por razões ambientais e também por causa de algumas limitações como o apodrecimento. Hoje elas são mais utilizadas para suportarem pequenas cargas e principalmente em obras temporárias e estruturas de contenção.

Cravadas por percussão, no Brasil, utiliza-se normalmente o eucalipto para a fabricação de estacas temporárias. Enquanto madeiras de lei como peroba, aroeira e ipê são empregadas em obras definitivas. Algumas condições, porém, são fundamentais para o uso desse tipo de estaca. Uma delas é o diâmetro mínimo de 15 cm para a ponta, e 25 cm para o topo. Além disso, para garantir a durabilidade das estacas, o arrasamento do seu topo deve estar abaixo do nível d'água, a não ser que recebam tratamento especial.

### **Racionalidade e desperdício**

Porém, para o engenheiro Urbano Rodrigues Alonso, diretor técnico da Geofix e co-autor do livro "Fundações Teoria e Prática", de todos os materiais de construção, o concreto é um dos que melhor se prestam à confecção de estacas, em especial das pré-moldadas, principalmente em virtude do controle da qualidade que se pode exercer durante a confecção e cravação das estacas.

Indicadas para transpor camadas extensas de solo mole e em terrenos onde o plano de fundação apresenta uma profundidade homogênea, as estacas pré-moldadas de concreto não possuem restrições quanto ao seu uso abaixo do lençol freático. Podem ser confeccionadas em concreto armado ou protendido, nesse caso, por material adensado por vibração ou por centrifugação (vazadas). O que mudam basicamente são os formatos e a resistência. As seções transversais mais empregadas são as circulares (maciças ou vazadas), as quadradas, as hexagonais e as octogonais.

A produtividade pode variar entre 40 e 80 m de estaca/dia, e quanto maior o diâmetro, maior a produtividade.

Já as dimensões podem ir de 15 cm a 70 cm. No entanto, pela necessidade de serem transportadas da fábrica ao canteiro, o comprimento máximo das estacas de concreto limita-se a 12 m. A alternativa quando extensões maiores são necessárias é emendar as peças. Para isso, a NBR 6122 recomenda a soldagem, só tolerando as antigas emendas por anéis metálicos ou por luvas de encaixe tipo macho e fêmea quando não existem esforços de tração.

De acordo com a engenheira Gisleine Coelho de Campos, do IPT, para obras em terra, em geral, as estacas de concreto são as mais adotadas, até pela ampla variedade de segmentos que oferece, o que contribui para evitar futuras emendas e desperdício de material. "Mas essa vantagem pode se transformar em desvantagem diante de qualquer desvio de projeto, por menor que seja, pois se for preciso aumentar ou diminuir o comprimento da estaca em obra, serão necessários cortes e emendas que fatalmente levam ao desperdício", salienta.

"Daí a importância de uma investigação geotécnica bem apurada, o que aliás não vale apenas para as estacas pré-moldadas, mas para todos os tipos de fundação", continua.

### **Cuidados e desafios executivos**

Um dos pontos nevrálgicos quando se trata de estaca pré-moldada, sobretudo de concreto, é a cravação. O processo mais utilizado ainda é o de percussão, que emprega pilões de queda livre e que apresenta como principal desvantagem alto nível de vibração, podendo danificar edificações vizinhas. Nesse método, uma massa erguida por um guindaste em um cabo de aço aplica uma série de golpes de martelo até que a estaca penetre no terreno. É a relação de massa e a altura de queda do martelo especificada pelo projetista que fornecem a energia necessária para a cravação. "Por isso, o dimensionamento adequado da altura de queda do martelo é fundamental para evitar quebras e danos às estacas", comenta Gisleine.

Por conta de dificuldades durante a cravação, o uso de estacas pré-moldadas pode ser dificultado em solos com SPT elevado, tornando-se até mesmo inviável quando o índice for superior a 30. Porém, quando as estacas pré-moldadas se mostrarem mais viáveis, algumas técnicas podem ajudar a superar obstáculos durante a cravação. Uma delas é a utilização de estacas mistas, formadas pela associação de dois elementos, por exemplo, madeira-concreto e metal-concreto. Para cravação em argilas médias e duras, um dos procedimentos recorrentes é a utilização de uma ponta metálica, que é mais dúctil, associada a um fuste de concreto no trecho do solo de menor resistência (ver ilustração).

Outro recurso quando a camada mais resistente está próxima à superfície é empregar um equipamento de perfuração para ultrapassar esse primeiro trecho e, a partir deste ponto, iniciar a cravação da estaca pré-moldada.

Da mesma forma, camadas espessas de solos muito moles podem significar desafios. Para suportarem estruturas em áreas com essas características, estacas pré-moldadas flutuantes podem apresentar bom comportamento. Muito comuns em zonas litorâneas, esses elementos trabalham apenas pelo atrito lateral, o que muitas vezes é suficiente para suportar todo o carregamento. "Nesse caso, o cálculo da resistência precisa ser compatível ao atrito lateral ao longo do fuste para que a fundação não dependa de resistência de ponta, inexistente nesse tipo de fundação", finaliza a pesquisadora do IPT.

### **Fissuras em estacas pré-moldadas de concreto**

O fissuramento e até o rompimento de estacas pré-moldadas de concreto são bastante frequentes, principalmente quando a estaca é vazada ou não é protendida. Normalmente as aberturas das fissuras são inferiores a 1 mm. Já são consideradas trincas as fissuras com abertura superior a 1 mm. A NBR 6122/96 não aborda essa questão, porém, podem-se adotar a classificação e os

limites abaixo indicados para estacas total e permanentemente enterradas.

### **Classe 1: Fissuras transversais**

Segundo o anexo da NBR 7480, a fissuração não é nociva quando pelo menos 85% das fissuras não ultrapassam os valores:

- 0,3 mm para estruturas protegidas com revestimento
- 0,2 mm para estruturas expostas em meio não-agressivo
- 0,1 mm para estruturas expostas em meio agressivo
- Quando as fissuras ultrapassarem esses valores, porém não atingirem 1 mm, a estaca deverá ser marcada e acompanhada durante seu içamento e aprumo junto ao bate-estacas. Após esse procedimento, novo exame deve ser realizado, e se mostrar que as fissuras não se fecharam até os limites acima mencionados a estaca deverá ser rejeitada

### **Classe 2: Fissuras longitudinais**

Esse tipo de fissura, relativamente rara, é suficiente para rejeitar a estaca.

### **Classe 3: Trincas transversais**

Indicam que a armadura longitudinal superou o estado elástico e a estaca deve ser rejeitada.

### **Classe 4: Trincas longitudinais**

A estaca deve ser desprezada.

### **Classe 5: Desagregações**

Pequenas partes superficiais da peça que se soltam por motivos diversos, geralmente pancadas acidentais. Neste caso, a estaca deve ser recuperada na região afetada.

### **Classe 6: Ruptura do corpo da estaca**

Se ocorrer na descarga ou durante o içamento e se for justificável economicamente, a estaca poderá ser recuperada. Se a ruptura ocorrer durante a cravação, a estaca deverá ser analisada e, dependendo da causa e profundidade onde ocorreu, poderá ser extraída, abandonada ou cortada.

### **Classe 7: Esmagamento da cabeça da estaca**

São válidas as recomendações do caso anterior. Se o topo da estaca estiver acima da cota de arrasamento, ela deverá ser demolida até essa cota. Se o topo da estaca estiver abaixo da cota de arrasamento, deve-se fazer a demolição do comprimento necessário da estaca.

*Fonte: Urbano Rodriguez Alonso, em "Fundações Teoria e Prática", Editora Pini*

Estacas moldadas in loco

*A escolha do melhor método dependerá da combinação das condições de solo  
com  
o tipo de estrutura e as peculiaridades da obra*

Estacas tipo ômega permitem o deslocamento lateral do terreno e podem chegar a 28 m de profundidade

A solidez de uma edificação depende, em primeiro lugar, de uma fundação bem dimensionada. Para isso, a engenharia já evoluiu a ponto de garantir que até as estruturas mais pesadas mantenham-se estáveis e, é claro, sem recalques consideráveis, mesmo em solos ruins. A variedade de sistemas, equipamentos e principalmente processos executivos é enorme, restando o desafio de identificar a maneira mais adequada de acordo com as peculiaridades da obra e do terreno.

São muitas as possibilidades quando se fala em fundações profundas - aquelas cujo comprimento da estaca predomina sobre sua seção transversal, ou a camada de suporte está a uma profundidade maior que 2 m.

Segundo explica a engenheira Gisleine Coelho de Campos, pesquisadora do Agrupamento de Fundações da Divisão de Engenharia Civil do IPT, normalmente, a esse tipo de solução estão associadas as estruturas de grandes cargas ou características de solo superficial ruim. No entanto, solos com baixa capacidade de suporte em pequena profundidade também podem obrigar a utilização de fundações profundas até mesmo para uma casa ou um sobrado. "É importante destacar essa falsa idéia de que fundação profunda serve apenas para obras de grande porte. O que define o tipo de sistema é o conjunto: tipo de estrutura e característica do solo", complementa.

No caso das estacas moldadas in loco, as tecnologias disponíveis vão desde simples estacas-brocas até as modernas estacas ômega e a hélice contínua monitorada (ver quadro). O que diferencia grande parte dos métodos de fundações é o processo executivo. Os estacões, por exemplo, como o próprio nome indica, além de possuírem maior diâmetro, são escavados usando lama bentonítica, fluido que ajuda a estabilizar a parede da escavação. Seu uso se

justifica em obras de maior carga e os equipamentos chegam a atingir 70 m de profundidade.

A limitação, no entanto, está na necessidade de um amplo canteiro de obras, não só por causa das grandes máquinas de perfuração, mas também pela necessidade de um tanque de armazenamento de lama e área para deposição do solo escavado.

Quando a falta de espaço é um fator determinante, uma opção é a estaca-raiz, utilizada tanto em obras convencionais, como em reforços de fundações. Tal flexibilidade é possível porque a ferramenta de escavação é relativamente pequena, permitindo o trabalho em locais com pé-direito baixo. Além disso, escava qualquer tipo de material, até mesmo concreto e rocha. "Trata-se de um dos sistemas mais versáteis, porque a perfuratriz não é contida por materiais que normalmente são obstáculos para outros tipos de equipamentos", esclarece a pesquisadora do IPT.

### **Desenvolvimento tecnológico**

O aprimoramento das máquinas de perfuração sempre esteve atrelado à evolução dos sistemas de fundação profunda. Nesse sentido, o desenvolvimento de equipamentos cada vez mais ágeis, eficazes e silenciosos foi decisivo para que se atingisse o atual estágio tecnológico.

Hoje, sem dúvidas, a bola da vez é a hélice contínua monitorada. Trazido da Europa no final dos anos 80, nos últimos anos esse sistema se firmou no mercado brasileiro, após a importação de máquinas, principalmente italianas, construídas especialmente para execução desse tipo de fundação, com torque variando de 90 kNm a mais de 200 kNm e com capacidade para executar estacas de até 32 m.

Indicada para obras de médio porte, onde normalmente se incluem construções residenciais, comerciais e industriais, o principal atrativo da hélice contínua está na produtividade. A velocidade de perfuração pode produzir de 200 a 400 m por dia, dependendo do diâmetro da hélice, da profundidade e da resistência do terreno. Isso porque após a escavação do solo - processo executado com pouca vibração - o trado helicoidal é retirado na medida em que o concreto é injetado, evitando desconfinamento do solo.

Para monitorar a execução, o sistema dispõe de medidor digital instalado na cabine de operação do equipamento. Esse computador de bordo, embora não exclua os ensaios de verificação exigidos pela norma técnica, permite acompanhar, por exemplo, o volume de concreto injetado, o torque e a velocidade de escavação, estabelecendo um controle da qualidade adicional.

Outra característica da hélice contínua é permitir a execução em terrenos coesivos e arenosos, na presença ou não do lençol freático, e atravessar camadas de solos resistentes com índices de SPT acima de 50, dependendo do tipo de equipamento. Porém, segundo conta Gisleine Coelho de Campos, do IPT, o sistema deve ser utilizado com cautela em solos de baixa consistência

abaixo do nível d'água, como argilas moles e areias fofas.

Nessas situações, o controle do operador torna-se ainda mais fundamental, porque se ele puxa o trado antes que o concreto tenha ocupado todo o espaço, podem ocorrer desmoronamentos parciais na parede da perfuração e esses solos podem se misturar ao concreto. O resultado dessa mistura é a perda total da capacidade de suporte da estaca.

Mesmo assim, ainda de acordo com a pesquisadora, isso não é motivo para condenar o sistema, sobretudo se a camada de solo de baixa resistência for pequena. "Tudo depende de um controle rígido. Não há problemas, desde que se tenha um engenheiro em cima e um operador consciente da sua responsabilidade, além de ensaios durante e após a execução das estacas", reforça a pesquisadora do IPT. "Porém, em casos de camadas muito extensas de solo mole, de 30, 40 m, por exemplo, realmente o melhor é recorrer a outras opções de escavação", alerta.

Atenção especial também deve ser dada para a trabalhabilidade do concreto, que não pode entupir a bomba, muito menos perder suas características, mesmo após percorrer uma longa distância ao longo do trado.

Após a escavação, a concretagem da estaca hélice contínua é realizada simultaneamente à retirada do trado. Depois basta inserir a armadura

### **Controle da execução**

Embora ainda não tenha tido tempo de se firmar no mercado nacional, a estaca ômega é apontada por muitos especialistas como a última palavra em tecnologia para fundações profundas.

Desenvolvido na Bélgica a partir de 1993, no Brasil, o sistema já foi empregado em obras como a estação Vila das Belezas, da Linha 5 do metrô, em São Paulo, e a expansão da unidade da Böhler Thyssen, também na capital paulista, que utilizou o sistema devido ao pouco espaço no canteiro de obras para armazenamento de terra escavada. No local, segundo informações da Construtora PPR, responsável pela obra, foram produzidas 71 estacas (1.397 m) executadas em sete dias corridos.

O princípio executivo é semelhante ao da hélice contínua, o que diferencia é o formato do trado. Em vez de ser expelido do furo, na estaca ômega o material escavado é pressionado contra a parede de perfuração pelo próprio trado. Em decorrência dessa compactação do solo, é possível mobilizar mais resistência lateral, permitindo reduzir a profundidade da estaca. "Além disso, sobretudo em terrenos que apresentam possibilidade de desmoronamentos, a ômega apresenta um comportamento melhor que a hélice", afirma Gisleine.

O processo de concretagem também é similar ao da hélice contínua, assim como a produtividade. Segundo a Fundesp, uma das empresas que disponibiliza essa tecnologia no Brasil, é possível executar estacas de até 28 m de profundidade, dependendo do equipamento, torque e diâmetros a serem

utilizados. Os diâmetros de hélice e ômega disponíveis iniciam com 270 mm e vão de 320 mm a 620 mm, com incrementos no diâmetro de 50 mm. Porém, os equipamentos devem possuir torque de 160 kNm.

Da mesma forma, o custo dos dois sistemas é parecido. De acordo com Lydio Ricardo Fernandes, responsável pela área comercial da Franki, no entanto, em uma comparação global, o custo da fundação ômega é um pouco menor que o da hélice. "Primeiro, porque as estacas são mais curtas em pelo menos um ou dois metros. Além disso, há a diminuição do sobreconsumo de concreto em cerca de 10%, devido à compactação do terreno. Adicionalmente, não existem gastos com a retirada do solo escavado", afirma.

### **Pesquisa determinante**

De qualquer maneira, a escolha do tipo de fundação adequada para uma determinada obra deve estar atrelada, em primeiro lugar, a informações sobre a topografia do terreno, sondagens de reconhecimento do subsolo, indo, em alguns casos, além do que é exigido pelas normas técnicas.

"Muitas vezes, na escolha da fundação são privilegiados critérios como custo e velocidade de execução, e essa é a causa de grande parte dos problemas futuros que uma fundação possa vir a apresentar", comenta a pesquisadora do IPT, Gisleine Coelho de Campos. Da mesma forma, não basta fazer uma bela campanha de investigação, possuir um projeto perfeitamente adequado, com cálculos coerentes e bem-dimensionados, se na hora de executar há um operador sem treinamento.

"Fundação é uma atividade em cadeia e em todos os seus aspectos precisa de controles estritos para garantia da qualidade", conclui o consultor de fundações e professor do Departamento de Geotécnica da USP em São Carlos, Nelson Aoki.

Estaca-raiz é indicada para áreas com limitação de pé-direito, ao contrário da estaca tipo ômega (à direita)

Equipamento eletrônico para monitoramento de escavação por hélice contínua e ponta de estaca tipo ômega

### **Principais tipos**

#### **Brocas**

Estacas executadas sem molde por perfuração no terreno, com auxílio de um trado de pequeno diâmetro.

**Execução:** A execução é manual, normalmente feita pelo próprio pessoal da obra. O trado possui quatro facas formando um recipiente acoplado a tubos de aço galvanizado. À medida que prossegue a escavação, os tubos vão sendo emendados. A perfuração é feita por rotação e compressão do tubo, seguindo-se da retirada da terra que se armazena dentro do trado. O furo é posteriormente preenchido com concreto apilado.



**Indicações:** Obras de pequenas dimensões que exigem baixa capacidade de carga (até 5 tf).

**Limitações:** Recomenda-se que sejam executadas somente acima do nível do lençol freático para evitar o estrangulamento do fuste. Além disso, apresenta perigo de introdução de solo no concreto durante o enchimento. Trabalha apenas à compressão.

#### **Trado helicoidal**

É uma evolução da broca

**Execução:** Em vez da escavação manual, é utilizado um trado mecânico. Assim, é possível atingir profundidades maiores, porém, ainda acima do nível da água

**Indicações:** Obras de pequeno porte

**Limitações:** Deve ser utilizada em solos com boa resistência, para garantir que a escavação permaneça estável durante a inserção da armação e da concretagem.

#### **Estacas Strauss**

Fundação em concreto simples ou armado, executada com revestimento metálico recuperável. Abrangem a faixa de carga entre 200 e 400 kN, com diâmetro variando entre 25 e 40 cm.

**Execução:** Abre-se um furo no terreno com um soquete para colocação do primeiro tubo (coroa). Aprofunda-se o furo com golpes de sonda de percussão. Conforme a descida do tubo, rosqueia-se o tubo seguinte até a escavação atingir a profundidade determinada. O concreto é, então, lançado no tubo e apiloa-se o material com o soquete formando uma base alargada na ponta da estaca. Para formar o fuste, o concreto é lançado na tubulação e apiloado, enquanto que as camisas metálicas são retiradas com guincho manual. Após a concretagem, colocam-se barras de aço de espera para ligação com blocos e baldrames na extremidade superior da estaca.

**Indicações:** Locais confinados, terrenos acidentados e interior de construções existentes, com o pé-direito reduzido. Podem ser utilizadas também em locais com restrições a vibrações.

**Limitações:** Capacidade de carga menor que as estacas Franki e pré-moldadas de concreto. Uma estaca do tipo strauss com diâmetro de 25 cm pode suportar até 20 t, de 32 cm até 30 t e de 38 cm chega a suportar 40 t. Possui limitação quanto ao nível do lençol freático. Também apresenta dificuldade para escavar solo mole de areia fofa por causa do estrangulamento do fuste.

#### **Estacas Franki**

Estaca de concreto armado que usa um tubo de revestimento cravado dinamicamente com a ponta fechada, por meio de bucha e recuperado ao ser executada a estaca. Abrangem a faixa de carga de 500 a 1700 kN.

**Execução:** Crava-se no solo um tubo de aço cuja ponta é obturada por uma bucha de concreto seco, areia e brita, estanque e fortemente comprimida contra

a parede do tubo. Ao bater com o pilão na bucha, arrasta-se o tubo, impedindo a entrada de solo ou água. Atingida a profundidade desejada, o tubo é preso e a bucha é expulsa por golpes de pilão e fortemente socada contra o terreno, formando uma base alargada. Coloca-se a armadura, inicia-se a concretagem, extraíndo-se o tubo simultaneamente.

**Indicações:** Recomendadas quando a camada resistente localiza-se em profundidades variáveis. Também no caso de terrenos com pedregulhos ou pequenos matacões relativamente dispersos. A forma rugosa do fuste garante boa aderência ao solo (resistência por atrito).

**Limitações:** Seus maiores inconvenientes dizem respeito à vibração do solo durante a execução. Demanda área para o bate-estacas. Há possibilidade de alterações do concreto do fuste por deficiência do controle.

### **Estaca-raiz**

Estaca de pequeno diâmetro cuja perfuração é realizada por rotação ou rotopercussão em direção vertical ou inclinada. Dependendo do equipamento utilizado, as estacas podem ser executadas em ângulos diferentes da vertical (0° a 90°).

**Execução:** A perfuração se processa com um tubo de revestimento e o material escavado é eliminado continuamente por uma corrente fluida (água, lama bentonítica ou ar) que, introduzida através do tubo, reflui pelo espaço entre o tubo e o terreno. Na seqüência, coloca-se a armadura e concretiza-se à medida que o tubo de perfuração é retirado.

**Indicações:** Locais com espaços restritos, solos com matacões, rocha ou concreto, reforços de fundações, estabilização de encostas; locais onde haja necessidade de ausência de ruídos, quando são expressivos os esforços horizontais transmitidos pela estrutura às estacas de fundação, quando há esforço de tração a solicitar o topo das estacas.

**Limitações:** Concebida para reforço de fundação, passou a ser utilizada em fundações de novas estruturas. Assim, as cargas adotadas foram aumentadas, ultrapassando 1000 kN. Por isso, a NBR 6122 fixou a obrigatoriedade de realizar um número mais alto de provas de carga nesse tipo de estaca.

### **Estacão**

Estaca escavada mecanicamente com seção circular. Normalmente apresenta diâmetros entre 0,6 m e 2,0 m.

**Execução:** Executada por escavação mecânica, com equipamento rotativo utilizando lama bentonítica, seguindo-se a colocação da armadura e concretagem com uso de tremonha.

**Indicações:** Quando há necessidade de suportar cargas elevadas. O comprimento das estacas é bastante variável, atingindo até 45 m. Permite inspeção do solo à medida que se escava. Rápida execução e pouca vibração.

**Limitações:** Necessidade de um amplo canteiro de obras para equipamentos e tanques de armazenamento de lama e depósito de solo escavado. Nível do lençol freático muito alto ou lençol com artesianismo podem dificultar a execução, principalmente quando em camadas de areias finas e fofas.

Recuperação ou reforços são de difícil execução.

### **Estacas-barrete**

Estaca escavada com seção retangular. Devido à sua forma, possui área lateral maior que uma estaca circular com uma mesma área de seção transversal, podendo, portanto, ser mais curta.

**Execução:** É executada com escavação por meio de guindaste acoplado com clamshell, também utilizando lama bentonítica.

**Indicações:** as mesmas do estacão.

**Limitações:** semelhantes às do estacão.

### **Hélice contínua monitorada**

Estaca executada por meio de trado contínuo e injeção de concreto pela haste central, operação que ocorre durante a retirada do trado espiral do furo. O concreto normalmente utilizado apresenta resistência característica de 20 MPa, é bombeável (composto de areia e pedrisco, com consumo de cimento de 350 a 450 kg/m<sup>3</sup>), sendo facultativa a utilização de aditivos. O slump é mantido entre 200 e 240 mm.

**Execução:** A perfuração consiste em fazer a hélice penetrar no terreno por meio de torque apropriado. A haste de perfuração é composta por uma hélice espiral solidarizada a um tubo central. Alcançada a profundidade, o concreto é bombeado por esse tubo, preenchendo a cavidade deixada pela hélice, que é extraída lentamente. Exige a colocação da armação após a concretagem. Para controlar a pressão de bombeamento do concreto, o sistema possui instrumento medidor digital que informa todos os dados de execução da estaca.

**Indicações:** Obras que demandam rapidez, ausência de barulho e de vibrações prejudiciais a prédios da vizinhança. Pode ser executada em terrenos coesivos e arenosos, na presença ou não do lençol freático e atravessa camadas de solos resistentes. Também oferece uma solução técnica e economicamente interessante em obras onde há um grande número de estacas sem variações de diâmetros, pela produtividade alcançada.

**Limitações:** Em função do porte do equipamento, as áreas de trabalho devem ser planas e de fácil movimentação. Exige central de concreto nas proximidades do local de trabalho. É necessário um número mínimo de estacas compatível com os custos de mobilização dos equipamentos envolvidos. Os equipamentos disponíveis permitem executar estacas de no máximo 32 m de profundidade e inclinação de até 1:4 (H:V).

### **Estaca tipo ômega**

Semelhante à hélice contínua, mas permite o deslocamento lateral do terreno, sem o transporte de solo à superfície, resultando numa melhora do atrito lateral. Em geral, é necessário um torque mínimo de 160 kNm para uma rotação do trado de 8 a 10 rpm. Os diâmetros disponíveis da estaca ômega iniciam com 270

mm, e depois de 320 mm a 620 mm, com incrementos no diâmetro de 50 mm.

**Execução:** O trado é cravado por rotação, por meio de uma mesa rotativa hidráulica, com deslocamento lateral do solo e sem o transporte do material escavado à superfície. Esse sistema permite o uso do pull-down, que auxilia no atravessamento ou penetração de camadas resistentes. Alcançada a profundidade, o concreto é bombeado à alta pressão pelo interior do eixo do trado que é retirado do terreno girando-se no sentido da perfuração.

A parte superior do trado é construída de forma a empurrar de volta o solo que possa cair sobre o trado. A armadura pode ser introduzida antes ou depois da concretagem. O processo é monitorado por sensores ligados a um computador colocado na cabine do operador.

**Indicações:** Tensão de trabalho média no concreto de 6 MPa, com uma menor relação carga x diâmetro, com conseqüente redução no volume de concreto. Menor sobreconsumo de concreto, ausência de material escavado, maior agilidade na mudança de diâmetro. No que se refere à profundidade, é possível executar estacas de até 28 m de profundidade, dependendo do equipamento, torque e diâmetros a serem utilizados.

**Limitações:** Apenas duas empresas oferecem o sistema no Brasil.

*Fontes: apostilas "Fundações", Departamento de Engenharia de Construção Civil - Poli/USP, Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Ponta Grossa (PR), Fundesp e "Fundações Teoria e Prática", Editora PINI.*

## **LEIA MAIS**

**Fundações Teoria e Prática.** Waldemar Hachich, Frederico F. Falconi, José Luiz Soares, Régis G.Q. Frota, Celso S. Carvalho e Sussumo Niyama. PINI/ABMS/ABEF, 2a edição, São Paulo, 1998.

**NBR 6122 - Projeto e execução de fundações.** ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Define tipos de fundação, fornece noções de dimensionamento, fatores de segurança que devem ser considerados e principalmente verificação de desempenho. A versão mais recente é a de 1996.