

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL
PCC-2435: Tecnologia da Construção de Edifícios I

Fundações

ABRIL / 1996

Revisão: Profa. Mercia Barros – fevereiro de 2003

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. INVESTIGAÇÃO DO SUBSOLO	1
3. TIPOS DE FUNDAÇÕES.....	3
3.1 BLOCOS E ALICERCES.....	4
3.2 SAPATAS.....	6
3.2.1 Sapatas isoladas	6
3.2.2 Sapatas corridas	7
3.2.3 Sapatas associadas	8
3.2.4 Sapatas alavancadas	8
3.3 RADIERS	9
3.4 TUBULÕES	10
3.4.1 Tubulões a céu aberto.....	10
3.4.2 Tubulões com ar comprimido	12
3.5 ESTACAS DE MADEIRA	14
3.6 ESTACAS METÁLICAS	14
3.7 ESTACAS PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO	15
3.7.1 Estacas Mega.....	17
3.8 BROCAS.....	18
3.9 ESTACAS STRAUSS	19
3.10 ESTACAS FRANKL.....	20
3.11 ESTACAS RAIZ.....	22
3.12 ESTACAS ESCAVADAS E BARRETES	24
4. ARRASAMENTO DE ESTACA	28
BIBLIOGRAFIA	30

1. INTRODUÇÃO

Fundações são os elementos estruturais cuja função é **transmitir as cargas da estrutura ao terreno onde ela se apóia** (AZEREDO, 1988). Assim, as fundações devem ter resistência adequada para suportar as tensões causadas pelos esforços solicitantes. Além disso, o solo necessita de resistência e rigidez apropriadas para não sofrer ruptura e não apresentar deformações exageradas ou diferenciais.

Para se escolher a fundação mais adequada, deve-se conhecer os esforços atuantes sobre a edificação, as características do solo e dos elementos estruturais que formam as fundações. Assim, analisa-se a possibilidade de utilizar os vários tipos de fundação, em ordem crescente de complexidade e custos (WOLLE, 1993). Fundações bem projetadas correspondem de 3% a 10% do custo total do edifício; porém, se forem mal concebidas e mal projetadas, podem atingir 5 a 10 vezes o custo da fundação mais apropriada para o caso. O custo da fundação aumenta também em casos em que as características de resistência do solo são incompatíveis com os esforços que serão a ele transferido, pois nestas situações, elementos de fundação mais complexos são exigidos, podendo-se ter, inclusive, a necessidade de troca de solo, com reaterro e compactação. Tudo isto levando a custos, muitas vezes, não previstos inicialmente.

2. INVESTIGAÇÃO DO SUBSOLO

Na grande maioria dos casos, a avaliação e o estudo das características do subsolo do terreno sobre o qual será executada a edificação se resume em sondagens de simples reconhecimento (sondagem à percussão); mas, dependendo do porte da obra, ou se as informações obtidas não forem satisfatórias, outros tipos de pesquisas poderão ser executados (por exemplo, poços exploratórios, ensaio de penetração contínua, ensaio de palheta).

Características como: número de pontos de sondagem, seu posicionamento no terreno (levando-se em conta a posição relativa do edifício) e a profundidade a ser atingida são determinadas por profissional capacitado, baseado em normas brasileiras e na sua experiência (BRITO, 1987).

Tendo-se executado as sondagens corretamente, as informações são condensadas e apresentadas em um relatório escrito e outro gráfico, que deverá conter as seguintes informações referentes ao subsolo estudado:

– locação dos furos de sondagem;

- determinação dos tipos de solo até à profundidade de interesse do projeto;
- determinação das condições de compactidade, consistência e capacidade de carga de cada tipo de solo;
- determinação da espessura das camadas e avaliação da orientação dos planos que as separam;
- informação do nível do lençol freático.

Estes dados, obtidos através de sondagem, retratam as características e propriedades do subsolo e, depois de avaliados e minuciosamente estudadas, servem de base técnica para a escolha do tipo de fundação da edificação que melhor se adapte ao terreno.

A figura 2.1 ilustra o posicionamento dos furos de sondagem no terreno; enquanto a figura 2.2 ilustra um perfil de solo com as informações anteriormente destacadas.



Figura 2.1 - Posicionamento dos furos de sondagem no terreno

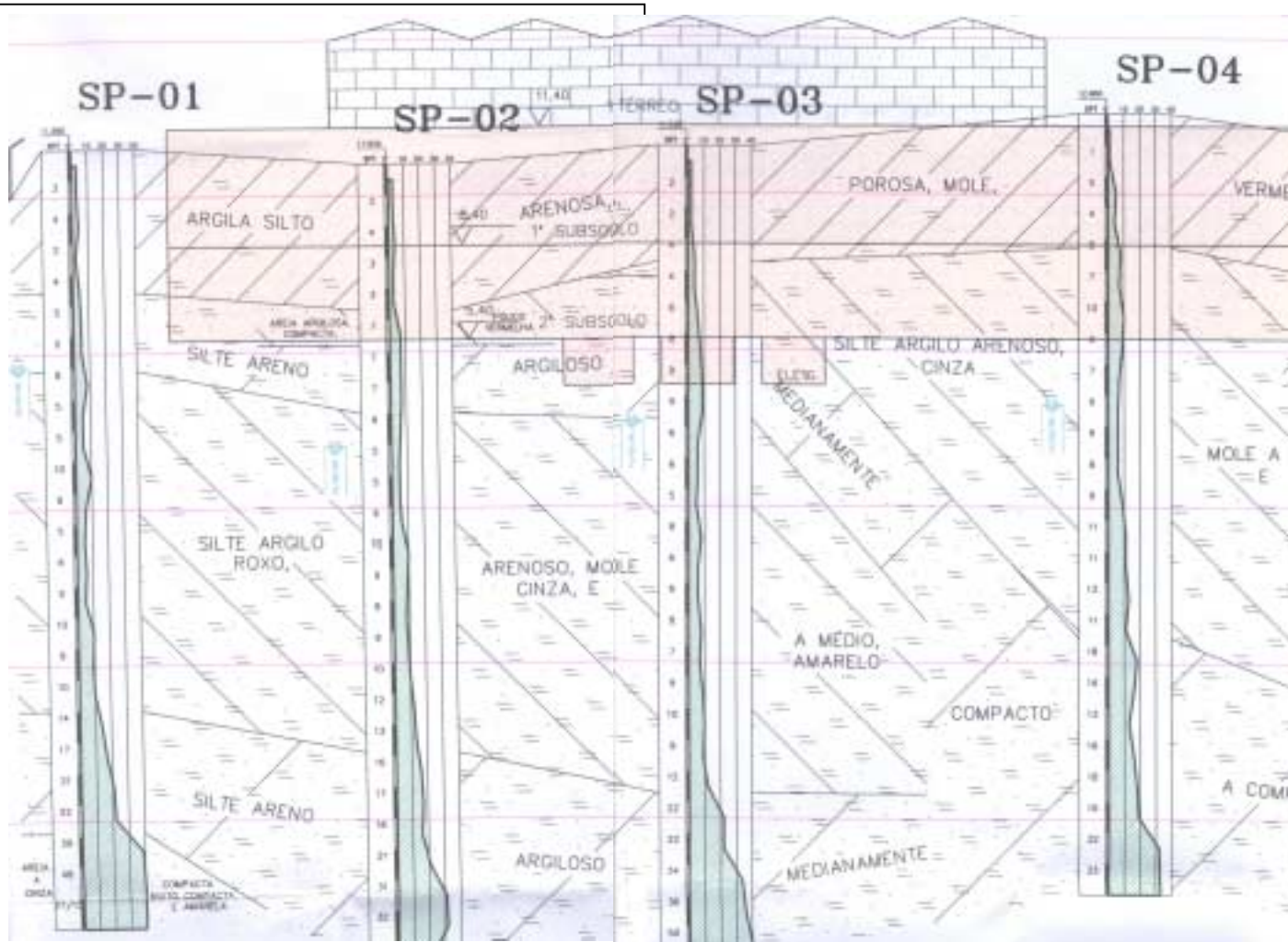


Figura 2.2 – Perfil do terreno, a partir da avaliação por sondagem à percussão.

3. TIPOS DE FUNDAÇÕES

As fundações se classificam em diretas e indiretas, de acordo com a forma de transferência de cargas da estrutura para o solo onde ela se apóia.

Fundações diretas são aquelas que transferem as cargas para camadas de solo capazes de suportá-las (FABIANI, s.d.), sem deformar-se exageradamente. Esta transmissão é feita através da base do elemento estrutural da fundação, considerando apenas o apoio da peça sobre a camada do solo, sendo desprezada qualquer outra forma de transferência das cargas (BRITO, 1987). As fundações diretas podem ser subdivididas em rasas e profundas.

A fundação rasa se caracteriza quando a camada de suporte está próxima à superfície do solo (profundidade até 2,0 m) (FABIANI, s.d.), ou quando a cota de apoio é inferior à largura do elemento da fundação (BRITO, 1987). Por outro lado, a fundação é considerada profunda se suas dimensões ultrapassam todos os limites acima mencionados.

Os alicerces, também denominados de blocos corridos, são utilizados na construção de pequenas residências e suportam as cargas provenientes das paredes resistentes, podendo ser de concreto, alvenaria ou de pedra (Figura 3.2).

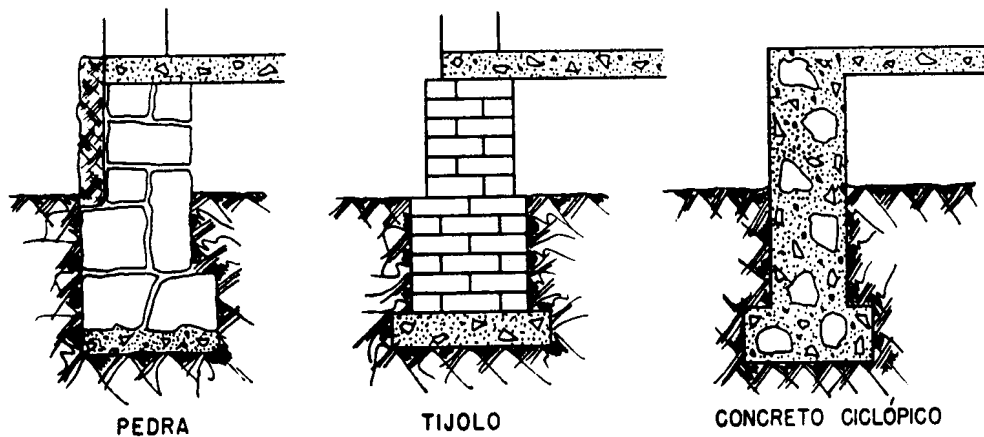


Figura 3.2: Tipos de alicerce

O processo de execução de um alicerce consiste em:

1. escavação: executar a abertura da vala;
2. promover a compactação da camada do solo resistente, apiloando o fundo;
3. colocação de um lastro de concreto magro (90 kgf/cm^2) de 5 a 10 cm de espessura;
4. execução do embasamento, que pode ser de concreto, alvenaria ou pedra;
5. construir uma cinta de amarração que tem a finalidade de absorver esforços não previstos, suportar pequenos recalques, distribuir o carregamento e combater esforços horizontais. A cinta de amarração pode ser de concreto armado, mas muitas vezes, utiliza-se a própria alvenaria como fôrma lateral;
6. camada impermeabilizante: sua função é evitar a subida da umidade por capilaridade para a alvenaria de elevação; sua execução deve evitar discontinuidades que poderão comprometer seu funcionamento. São diversos os sistemas de impermeabilização empregados, sendo hoje muito comum o emprego de argamassas poliméricas ou mesmo emulsões asfáticas ou acrílicas. A impermeabilização deverá se estender pelo menos 10 cm para baixo do topo da alvenaria de embasamento.

Deve-se, ainda, observar com cuidado:

- se há ocorrência de formigueiros e raízes de árvore no momento da escavação da vala;
- compatibilização da carga da parede x largura do alicerce, observando: eventual distinção da largura dos alicerces para as diferentes paredes, e o uso adicional de brocas em pontos isolados, como reforço de fundação;
- se o terreno está em declive, deve-se fazer o alicerce em escada (Figura 3.3).

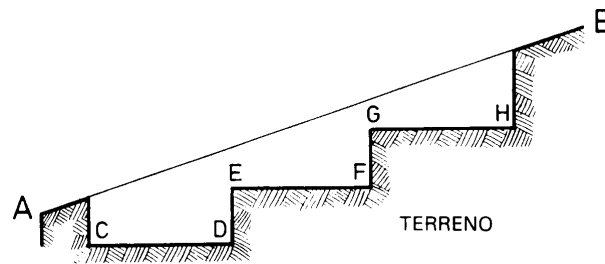


Figura 3.3: Execução do alicerce em declive

CONTROLE DE EXECUÇÃO

- locação do centro dos blocos e das linhas das paredes;
- cota do fundo da vala;
- limpeza da vala.

3.2 Sapatas

Ao contrário dos blocos, as sapatas não trabalham apenas à compressão simples, mas também à flexão, devendo, neste caso, serem executadas incluindo material resistente à tração (BRITO, 1987).

3.2.1 Sapatas isoladas

São aquelas que transmitem para o solo, através de sua base, a carga de uma coluna (pilar) ou um conjunto de colunas (BRITO, 1987). A Figura 3.4 apresenta alguns tipos de sapatas isoladas.

Para construção de uma sapata isolada, são executadas as seguintes etapas:

1. fôrma para o rodapé, com folga de 5 cm para execução do concreto “magro”;
2. posicionamento das fôrmas, de acordo com a marcação executada no gabarito de locação;
3. preparo da superfície de apoio;
4. colocação da armadura;
5. posicionamento do pilar em relação à caixa com as armações;
6. colocação das guias de arame, para acompanhamento da declividade das superfícies do concreto;
7. concretagem: a base poderá ser vibrada normalmente, porém para o concreto inclinado deverá ser feita uma vibração manual, isto é, sem o uso do vibrador.

Obs.: a etapa 3 compreende a limpeza do fundo da vala de materiais soltos, lama, o apiloamento com soquete ou sapo mecânico e a execução do concreto “magro”, que é um lastro de concreto com pouco cimento, com função de regularizar a superfície de apoio e não permitir a saída da água do concreto da sapata, além de isolar a armadura do solo. A vala deve ser executada com pelo menos 10 cm de folga a mais da largura da sapata para permitir o trabalho dos operários dentro dela.

3.2.2 Sapatas corridas

São elementos contínuos que acompanham a linha das paredes, as quais lhes transmitem a carga por metro linear (BRITO,1987). Para edificações cujas cargas não sejam muito grandes, como residências, pode-se utilizar alvenaria de tijolos (neste caso, confunde-se com o alicerce,

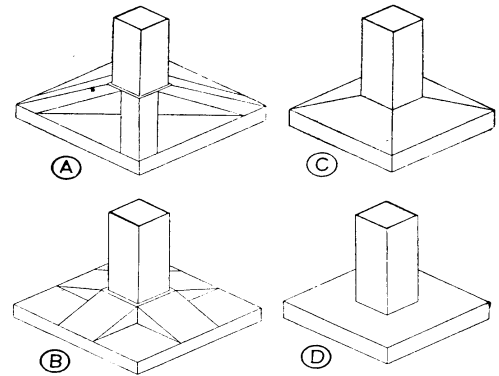


Figura 3.4: Sapatas isoladas

anteriormente abordado). Caso contrário, ou ainda para profundidades maiores do que 1,0 m, torna-se mais adequado e econômico o uso do concreto armado (Figura 3.5).

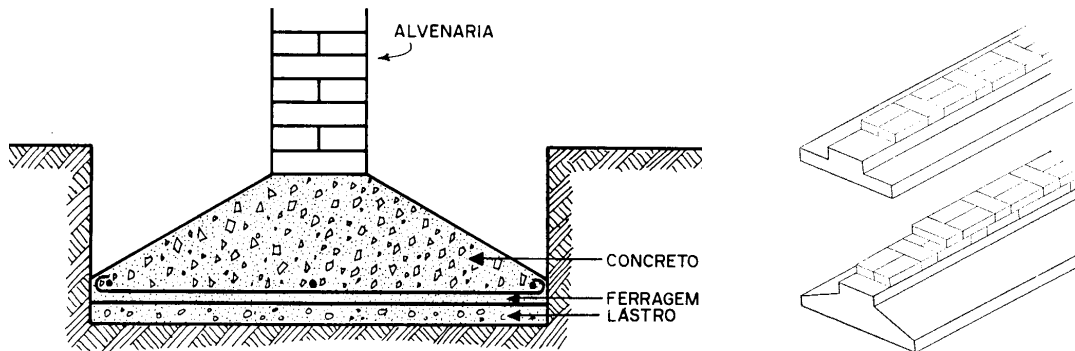


Figura 3.5: Sapata corrida

3.2.3 Sapatas associadas

Um projeto econômico deve ser feito com o maior número possível de sapatas isoladas. No caso em que a proximidade entre dois ou mais pilares seja tal que as sapatas isoladas se superponham, deve-se executar uma sapata associada. A viga que une os dois pilares denomina-se viga de rigidez (Figura 3.6), e tem a função de permitir que a sapata trabalhe com tensão constante (BRITO,1987).

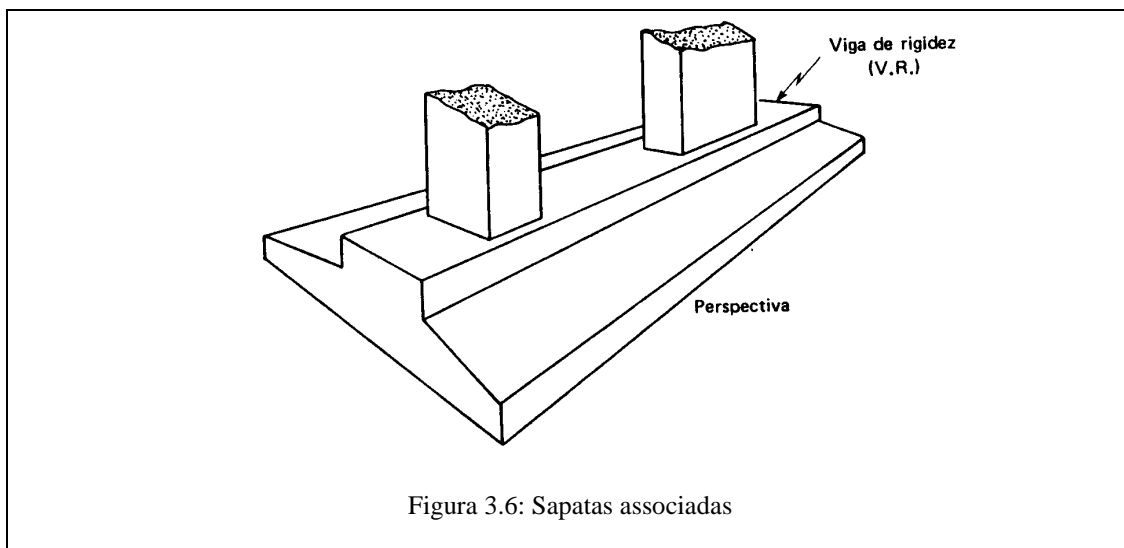


Figura 3.6: Sapatas associadas

3.2.4 Sapatas alavancadas

No caso de sapatas de pilares de divisa ou próximos a obstáculos onde não seja possível fazer com que o centro de gravidade da sapata coincida com o centro de carga do pilar, cria-se uma

viga alavanca ligada entre duas sapatas (Figura 3.7), de modo que um pilar absorva o momento resultante da excentricidade da posição do outro pilar (BRITO,1987).

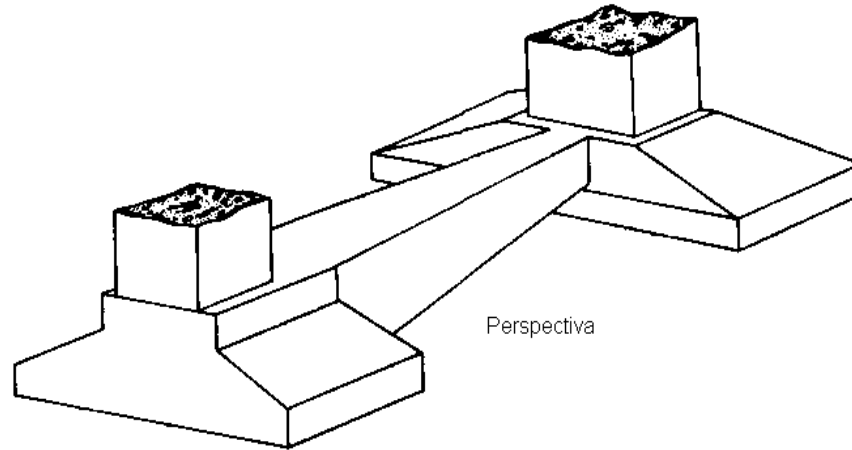


Figura 3.7: Sapatas alavancadas

CONTROLE DE EXECUÇÃO

- locação do centro da sapata e do eixo do pilar;
- cota do fundo da vala;
- limpeza do fundo da vala;
- nivelamento do fundo da vala;
- dimensões da forma da sapata;
- armadura da sapata e do arranque do pilar;

3.3 Radiers

A utilização de sapatas corridas é adequada economicamente enquanto sua área em relação à da edificação não ultrapasse 50%. Caso contrário, é mais vantajoso reunir todas as sapatas num só elemento de fundação denominado radier (Figura 3.8). Este é executado em concreto armado, uma vez que, além de esforços de compressão, devem resistir a momentos provenientes dos pilares diferencialmente carregados, e ocasionalmente a pressões do lençol freático (necessidade de armadura negativa). O fato do radier ser uma peça inteiriça pode lhe conferir uma alta rigidez, o que muitas vezes evita grandes recalques diferenciais (BRITO,1987). Uma outra vantagem é que a sua execução cria uma plataforma de trabalho para os serviços posteriores; porém, em

contrapartida, impõe a execução precoce de todos os serviços enterrados na área do radier (instalações sanitárias, etc.).

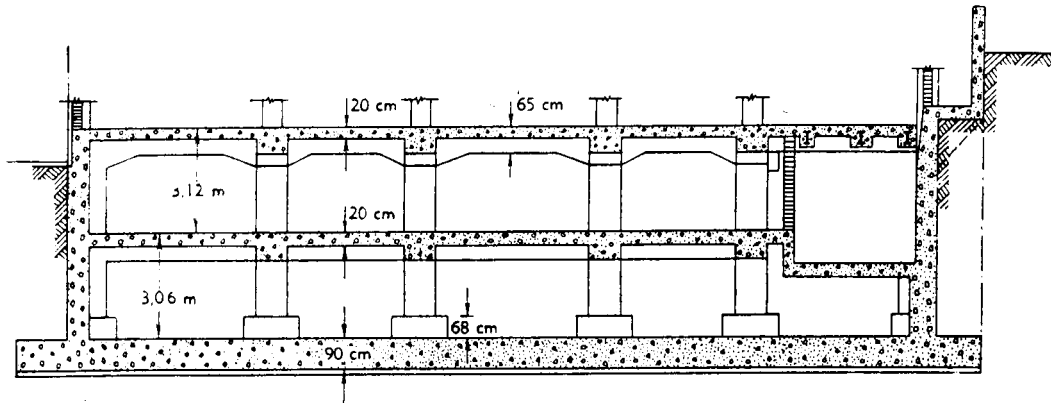


Figura 3.8: Radier

CONTROLE DE EXECUÇÃO

- locação dos eixos dos pilares;
- cota do fundo da escavação;
- nivelamento do fundo da escavação;
- colocação dos componentes das instalações e passagens, enterrados.

3.4 Tubulões

Tubulões são elementos estruturais da fundação que transmitem a carga ao solo resistente por compressão, através da escavação de um fuste cilíndrico e uma base alargada tronco-cônica a uma profundidade igual ou maior do que três vezes o seu diâmetro (BRITO,1987).

De acordo com o método de sua escavação, os tubulões se classificam em:

3.4.1 Tubulões a céu aberto

Consiste em um poço aberto manualmente ou mecanicamente em solos coesivos, de modo que não haja desmoronamento durante a escavação, e acima do nível d'água (Figura 3.9). Quando há tendência de desmoronamento, reveste-se o furo com alvenaria de tijolo, tubo de concreto ou tubo de aço. O fuste é escavado até a cota desejada, a base é alargada e posteriormente enche-se de concreto (BRITO,1987).

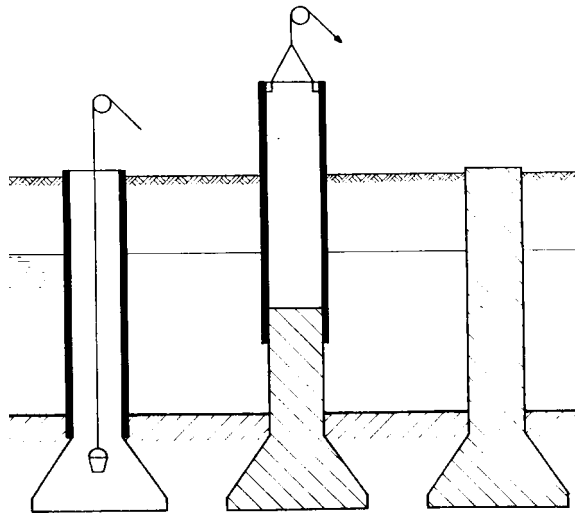


Figura 3.9: Tubulão a céu aberto

O processo de execução da fundação deve seguir as seguintes etapas:

1. A partir do gabarito, faz-se a marcação do eixo da peça utilizando um piquete de madeira. Depois, com um arame e um prego, marca-se no terreno a circunferência que delimita o tubulão, cujo diâmetro mínimo é de 70cm.
2. Inicia-se a escavação do poço até a cota especificada em projeto. No caso de escavação manual usa-se vanga, balde e um sarrilho para a retirada de terra. Nas obras com perfuração mecânica o aparelho rotativo acoplado a um caminhão retira a terra.

Na fase de escavação pode ocorrer a presença de água. Nestas casos, a execução da perfuração manual se fará com um bombeamento simultâneo da água acumulada no poço.

Poderá ocorrer, ainda, que alguma camada do solo não resista à perfuração e desmorone (no caso de solos arenosos). Então, será necessário o encamisamento da peça ao longo dessas camadas. Isto poderá ser feito através de tubos de concreto com o diâmetro interno igual ao diâmetro do fuste do tubulão.

3. Faz-se o alargamento da base de acordo com as dimensões do projeto.
4. Verificação das dimensões do poço, como: profundidade, alargamento da base, e ainda o tipo de solo na base. Certifica-se, também, se os poços estão limpos.
5. Colocação da armadura.
6. A concretagem é feita lançando-se o concreto da superfície (diretamente do caminhão betoneira, em caso de utilização do concreto usinado) através de um funil (tremonha), com o

comprimento da ordem de 5 vezes seu diâmetro, de modo a evitar que o concreto bata nas paredes do tubulão e se misture com a terra, prejudicando a concretagem (ALONSO,1979).

O concreto se espalhará pela base pelo próprio impacto de sua descarga, porém, durante a concretagem, é conveniente sua interrupção de vez em quando e descer para espalhá-lo, de modo a evitar que fiquem vazios na massa de concreto.

3.4.2 Tubulões com ar comprimido

Este tipo de fundação é utilizado quando existe água, exige-se grandes profundidades e existe o perigo de desmoronamento das paredes. Neste caso, a injeção de ar comprimido nos tubulões impede a entrada de água, pois a pressão interna é maior que a pressão da água, sendo a pressão empregada no máximo de 3 atm, limitando a profundidade em 30m abaixo do nível d'água (Figura 3.10).

Isso permite que seja executados normalmente os trabalhos de escavação, alargamento do fuste e concretagem.

O equipamento utilizado compõe de uma câmara de equilíbrio e um compressor. Durante a compressão, o sangue dos homens absorve mais gases do que na pressão normal. Se a descompressão for feita muito rapidamente, o gás absorvido em excesso no sangue pode formar bolhas, que por sua vez podem provocar dores e até morte por embolia. Para evitar esse problema, antes de passar à pressão normal, os trabalhadores devem sofrer um processo de descompressão lenta (nunca inferior a 15 minutos) numa câmara de emergência (BRITO,1987).

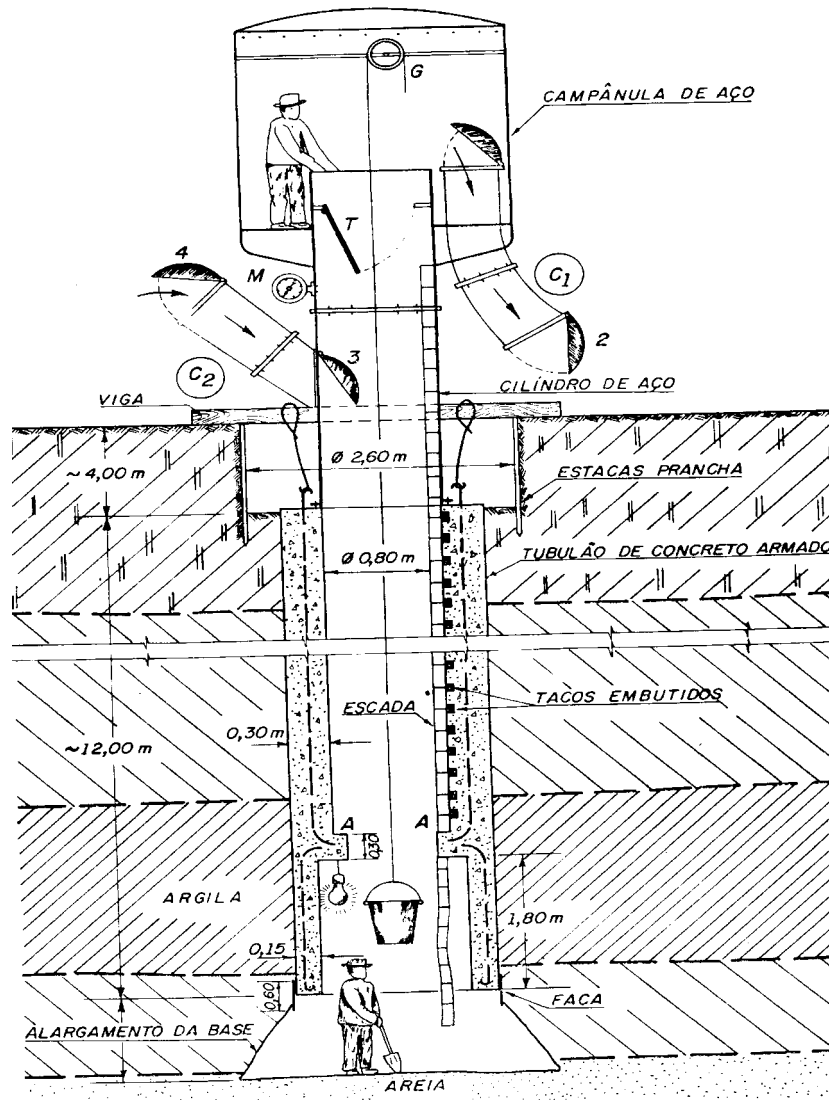


Figura 3.10: Tubulão a ar comprimido

Estes tubulões são encamisados com camisas de concreto ou de aço. No caso de camisa de concreto, a cravação da camisa, abertura e concretagem da base é feita sob ar comprimido, pois o serviço é feito manualmente. Se a camisa é de aço, a cravação é feita a céu aberto com auxílio de um bate estacas e a abertura e concretagem do tubulão são feitos a ar comprimido.

CONTROLE DE EXECUÇÃO

- locação do centro do tubulão;
- cota do fundo da base do tubulão;
- verticalidade da escavação;
- alargamento da base;

- posicionamento da armadura, quando houver, e da armadura de ligação;
- dimensões (diâmetro) do tubulão;
- concretagem (não misturar o solo com o concreto e evitar que se formem vazios na base alargada;
- tubulão a ar comprimido: pressão do ar no interior do tubulão, risco de acidentes.

3.5 Estacas de Madeira

As estacas de madeira são troncos de árvore cravados com bate-estacas de pequenas dimensões e martelos leves. Antes da difusão da utilização do concreto, elas eram empregadas quando a camada de apoio às fundações se encontrava em profundidades grandes. Para sua utilização, é necessário que elas fiquem totalmente abaixo d'água; o nível d'água não pode variar ao longo de sua vida útil.

Utilizam-se estacas de madeira para execução de obras provisórias, principalmente em pontes e obras marítimas (ALONSO, 1979). Os tipos de madeira mais usados são eucalipto, aroeira, ipê e guarantã.

CONTROLE DE EXECUÇÃO

- locação do centro das estacas;
- profundidade de cravação;
- proteção da cabeça das estacas (colocação do capacete metálico);

3.6 Estacas Metálicas

As estacas metálicas podem ser perfis laminados, perfis soldados, trilhos soldados ou estacas tubulares. Podem ser cravadas em quase todos os tipos de terreno; possuem facilidade de corte e emenda; podem atingir grande capacidade de carga; trabalham bem à flexão; e, se utilizadas em serviços provisórios, podem ser reaproveitadas várias vezes. Seu emprego necessita com cuidados sobre a corrosão do material metálico. Sua maior desvantagem é o custo maior em relação às estacas pré-moldadas de concreto, Strauss e Franki.

CONTROLE DE EXECUÇÃO

- locação do centro das estacas;

- profundidade de cravação;
- emendas;
- nega;

3.7 Estacas Pré-Moldadas de Concreto

Estas estacas podem ser de concreto armado ou protendido e, como decorrência do problema de transporte e equipamento, têm limitações de comprimento, sendo fabricadas em segmentos, o que leva em geral à necessidade de grandes estoques e requerem armaduras especiais para içamento e transporte.

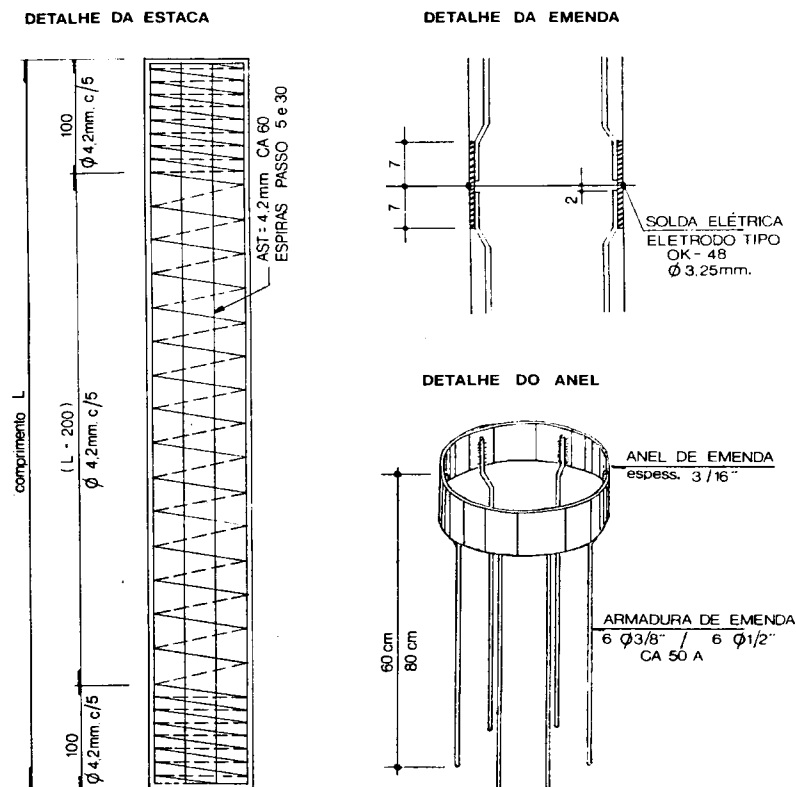


Figura 3.11: Estaca pré-moldada de concreto

Costumam ser pré-fabricadas em firmas especializadas, com suas responsabilidades bem definidas, ou no próprio canteiro, sempre num processo sob controle rigoroso (BRITO,1987).

O comprimento de cravação real às vezes difere do previsto pela sondagem, levando a duas situações: a necessidade de emendas ou de corte. No caso de emendas, geralmente constitui-se num ponto crítico, dependendo do tipo de emenda: luvas de simples encaixe, luvas soldadas, ou

emenda com cola epóxi através de cinta metálica e pinos para encaixe, este último tipo mais eficiente (Figura 3.11).

Quando o comprimento torna-se muito grande, há um limite para o qual não há comprometimento da linearidade da estaca, o que exige certo controle. Por outro lado, quando há sobra, o corte ou arrasamento deve ser feito de maneira adequada no sentido de evitar danos à estaca.

Apresenta-se em várias seções (versatilidade): quadradas, circulares, circulares centrifugadas (SCAC), duplo “T”, etc. As vazadas podem permitir inspeção após a cravação.

O processo de cravação mais utilizado é o de cravação dinâmica, onde o bate-estacas utilizado é o de gravidade. Este tipo de cravação promove um elevado nível de vibração, que pode causar problemas a edificações próximas do local. O processo prossegue até que a estaca que esteja sendo cravada penetre no terreno, sob a ação de um certo número de golpes, um comprimento pré-fixado em projeto: a “nega”, uma medida dinâmica e indireta da capacidade de carga da estaca. Em campo, “tira-se” a “nega” da estaca através da média de comprimentos cravados nos últimos 10 golpes do martelo. O objetivo de verificação da nega para as diferentes estacas é a uniformidade de comportamento das mesmas (LICHTENSTEIN, N.B.; GLAZER, N., s.d.). Deve-se ter cuidado com a altura de queda do martelo: a altura ideal está entre 1,5 a 2,0 m, para não causar danos à cabeça da estaca e fissuração da mesma, não esquecendo de usar também o coxim de madeira e o capacete metálico para proteger a cabeça da estaca contra o impacto do martelo, mesmo assim, estas estacas apresentam índice de quebra às vezes alto. Se a altura for inferior à ideal, poderá dar uma “falsa nega”. Estas estacas não resistem a esforços de tração e de flexão e não atravessam camadas resistentes. Outra vantagem destas estacas é que podem ser cravadas abaixo do nível d’água. Sua aplicação de rotina é em obras de pequeno a médio porte.

O processo executivo de cravação emprega como equipamentos um dos três tipos de bate-estacas:

- bate-estacas por gravidade: consta, basicamente, de um peso que é levantado através de um guincho e que cai orientado por guias laterais. A frequência das pancadas é da ordem de 10 por minuto e o peso do martelo varia entre 1,0 a 3,5 ton.
- bate-estacas a vapor: o levantamento do peso é feito através da pressão de vapor obtido por uma caldeira e a queda é por gravidade. São muito mais rápidos que os de gravidade, com

cerca de 40 pancadas por minuto e o peso do martelo de 4,0 ton. Como variante deste tipo, temos o chamado bate-estacas de duplo efeito, onde a pressão do vapor acelera a descida do macaco, aumentando assim o número de pancadas para cerca de 250 por minuto .

– bate-estacas a explosão: o levantamento do peso é feito através da explosão de gases (tipo diesel). Este tipo de bate-estacas está hoje sofrendo grande evolução (BRITO,1987).

CONTROLE DE EXECUÇÃO

- locação das estacas;
- profundidade de cravação;
- ocorrência de fissuras;
- verticalidade;
- nega
- altura de queda do pilão;
- execução da emenda;
- cota de arrasamento da cabeça da estaca;
- proteção da cabeça da estaca .

3.7.1 Estacas Mega

É constituída de elementos justapostos (de concreto armado, protendido ou de aço) ligados uns aos outros por emenda especial e cravados sucessivamente por meio de macacos hidráulicos. Estes buscarão reação ou sobre a estrutura existente ou na estrutura que esteja sendo construída ou em cargueiras especialmente construídas para tanto (cravação estática). A solidarização da estaca com a estrutura é feita sob tensão: executa-se um bloco sobre a extremidade da estaca; com o macaco hidráulico comprime-se a estaca calçando a estaca sob a estrutura; retira-se o macaco e concretiza-se o conjunto (ALONSO, 1979). Costumam ser utilizadas para reforço de fundações, mas às vezes também são empregadas como solução direta, permitindo em alguns casos até a execução da estrutura antes da fundação (Figura 3.12).

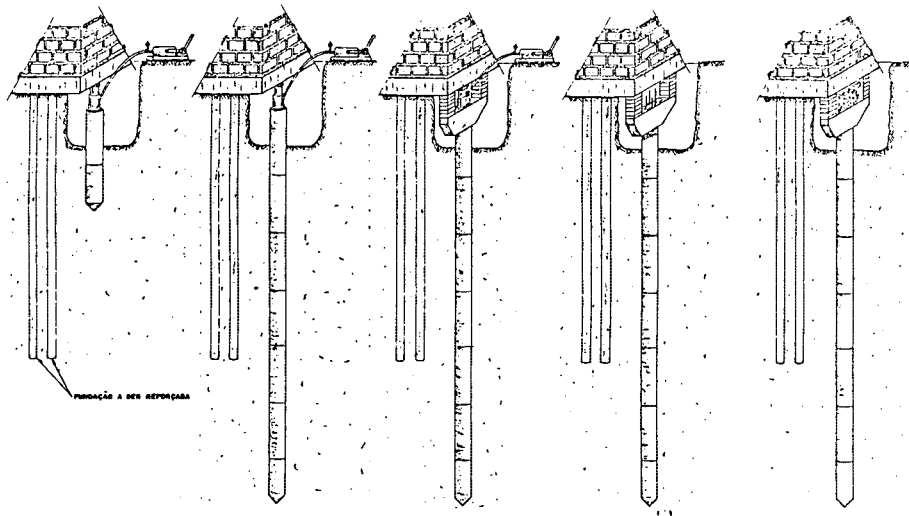


Figura 3.12: Estaca Mega

3.8 Brocas

São estacas executadas “in loco” sem molde, por perfuração no terreno com o auxílio de um trado ($\varnothing 15$ a 30 cm), sendo o furo posteriormente preenchido com o concreto apilado (FABIANI, s.d.).

O trado utilizado é composto de 04 facas, formando um recipiente acoplado a tubos de aço galvanizado. Os tubos são divididos em partes de 1,20 m de comprimento e à medida que se prossegue a escavação eles vão sendo sucessivamente emendados. A perfuração é feita por rotação/compressão do tubo, seguindo-se da retirada da terra que se armazena dentro deste.

Porém, várias restrições podem ser feitas a este tipo de estaca:

- baixa capacidade de carga, geralmente entre 4 e 5 tf;
- há perigo de introdução de solo no concreto, quando do enchimento;
- há perigo, também, de estrangulamento do fuste;
- não existe garantia da verticalidade;
- só pode ser executada acima do lençol freático;
- comprimento máximo de aproximadamente 6,0 m (normalmente entre 3,0 e 4,0 m);
- trabalha apenas à compressão, sendo que às vezes é utilizada uma armadura apenas para fazer a ligação com os outros elementos da construção.

Assim, a broca, à vista de suas características é usada somente para casos limitados e sua execução é feita normalmente pelo pessoal da própria obra.

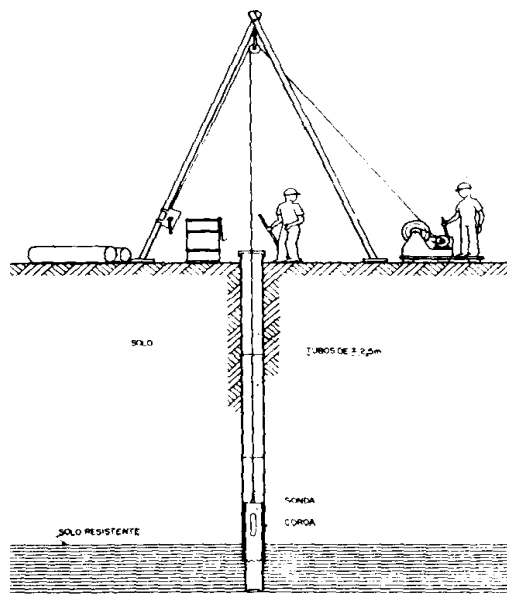
CONTROLE DE EXECUÇÃO

- locação do centro das estacas;
- profundidade de escavação;
- tipo de solo retirado como amostra;

3.9 Estacas Strauss

A estaca Strauss é uma fundação em concreto (simples ou armado), moldada *in loco*, executada com revestimento metálico recuperável.

Para sua execução, são empregados os seguintes equipamentos (Figura 3.13):



- tripé de madeira ou de aço;
- guincho acoplado a motor a explosão ou elétrico;
- sonda de percussão, com válvula para retirada de terra na sua extremidade inferior;
- soquete de 300 kg, aproximadamente;
- tubos de aço com 2,0 a 3,0 m de comprimento, rosqueáveis entre si;
- guincho manual para retirada da tubulação;
- roldanas, cabos e ferramentas.

Figura 3.13: Estaca Strauss

O processo executivo se inicia com a abertura de um furo no terreno, utilizando o soquete, até 1,0 a 2,0 m de profundidade, para colocação do primeiro tubo, dentado na extremidade inferior, chamado “coroa”. Em seguida, aprofunda-se o furo com golpes sucessivos da sonda de percussão, retirando-se o solo abaixo da coroa. De acordo com a descida do tubo metálico, quando necessário é rosqueado o tubo seguinte, e prossegue-se na escavação até a profundidade determinada (APEMOL, s.d.).

Para concretagem, lança-se concreto no tubo até se obter uma coluna de 1,0 m 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 o guincho manual. A concretagem é feita até um pouco acima da cota de arrasamento da estaca. Após esta etapa, coloca-se barras de aço de espera para ligação com blocos e baldrames na extremidade superior da estaca. Finalmente, remove-se o concreto excedente acima da cota de arrasamento, quebrando-se a cabeça da estaca com ponteiros metálicos.

A estaca Strauss pode ser empregada em locais confinados ou terrenos acidentados devido à simplicidade do equipamento utilizado. Sua execução não causa vibrações, evitando problemas com edificações vizinhas. Porém, em geral possui capacidade de carga menor que estacas Franki e pré-moldadas de concreto e possui limitação devido ao nível do lençol freático.

CONTROLE DE EXECUÇÃO

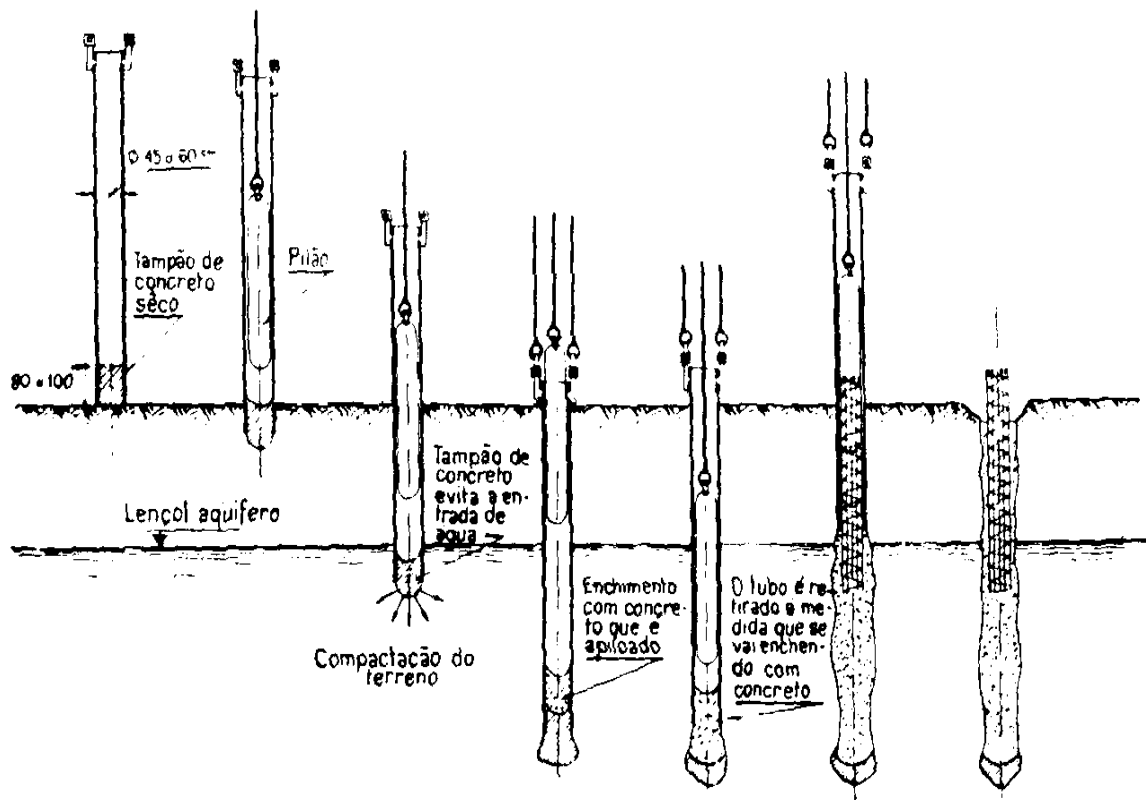
- locação das estacas;
- profundidade de escavação;
- verticalidade da camisa metálica;
- velocidade de retirada da camisa;
- tipo de solo encontrado (retirada de amostras);
- cota de arrasamento da cabeça das estacas;
- armadura, quando for o caso.
- apiloamento do concreto para garantir continuidade do fuste, mantendo dentro da tubulação uma coluna de concreto suficiente para ocupar o espaço perfurado e eventuais vazios do subsolo.

3.10 Estacas Franki

A execução deste tipo de estaca segue o seguinte procedimento:

1. 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 sobre as paredes do tubo. Ao se bater com o pilão na bucha, o mesmo arrasta o tubo, impedindo a entrada de solo ou água;

2. Atingida a camada desejada, o tubo é preso e a bucha expulsa por golpes de pilão e fortemente socada contra o terreno, de maneira a formar uma base alargada;
3. Uma vez executada a base e colocada a armadura, inicia-se a concretagem do fuste, em camadas fortemente socadas, extraíndo-se o tubo à medida da concretagem, tendo-se o cuidado de deixar no mesmo uma quantidade suficiente de concreto para impedir a entrada de água e de solo (Figura 3.14).



Figura

3.14: Estaca Franki

As estacas tipo Franki apresentam grande capacidade de carga e podem ser executadas a grandes profundidades, não sendo limitadas pelo nível do lençol freático. Seus maiores inconvenientes dizem respeito à vibração do solo durante a execução, área necessária ao bate-estacas e possibilidade de alterações do concreto do fuste, por deficiência do controle. Sua execução é sempre feita por firma especializada (BRITO, 1987).

Em situações especiais, sobretudo em zonas urbanas, pode-se atravessar camadas resistentes em que as vibrações poderiam causar problemas com construções vizinhas, por meio de perfuração prévia ou cravando-se numa primeira etapa o tubo com a ponta aberta e desagregando-se o material com a utilização de uma ferramenta apropriada e água (ALONSO, 1979).

No caso de existir uma camada espessa de argila orgânica mole saturada, a concretagem do fuste pode ser feita de duas maneiras:

- crava-se o tubo até terreno firme, enche-se o mesmo com areia, arranca-se o tubo e torna-se a cravá-lo no mesmo lugar. Deste modo, forma-se uma camada de areia que aumentará a resistência da argila mole e protegerá o concreto fresco contra o efeito de estrangulamento;
- após a cravação do tubo, execução da base e colocação da armação, enche-se inteiramente o mesmo com concreto plástico (slump de 8 a 12 cm) e em seguida o mesmo é retirado de uma só vez com auxílio de um equipamento vibrador acoplado ao tubo. A este processo executivo dá-se o nome de estaca Franki com fuste vibrado (ALONSO, 1979).

CONTROLE DE EXECUÇÃO

- locação do centro das estacas;
- profundidade de cravação/escavação;
- verticalidade do tubo e de sua retirada da camisa, para não haver estrangulamento do fuste;
- velocidade de execução;
- armação das estacas;
- nega;
- cota de arrasamento da cabeça da estaca;
- altura de queda do pilão;
- volume de concreto empregado na execução do bulbo.

3.11 Estacas Raiz

É uma estaca de pequeno diâmetro concretada “in loco”, cuja perfuração é realizada por rotação ou rotopercussão, em direção vertical ou inclinada. Essa 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 reflú pelo espaço entre o tubo e o terreno.

Completada a perfuração, coloca-se a armadura ao longo da estaca, concretando-se à medida em que o tubo de perfuração é retirado (Figura 3.15). A argamassa é constituída de areia peneirada e cimento, acrescida de aditivos fluidificantes adequados para cada caso (BRITO,1987).

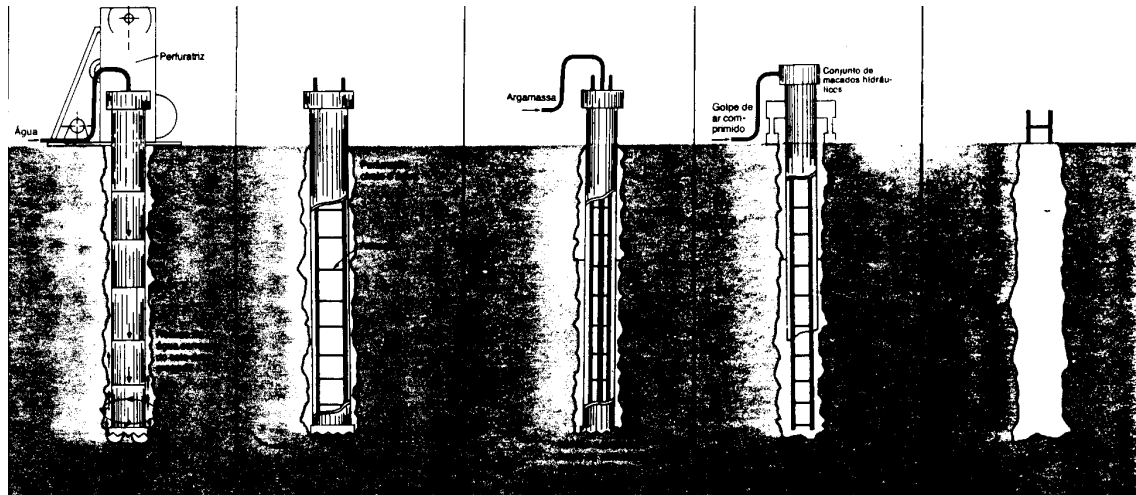


Figura 3.15: Estaca raiz

A concretagem é feita através de um tubo introduzido até o fundo da estaca, por onde é injetada a argamassa, dosada com 500 a 600 kg de cimento por metro cúbico de areia peneirada, com relação água/cimento de 0,4 a 0,6.

Durante o processo de concretagem o furo permanece revestido. Quando o tubo de perfuração está preenchido é montado um tampão em sua extremidade superior e se extrai a coluna de perfuração aplicando-se ao mesmo tempo ar comprimido (BRITO,1987).

Assim, a composição e a consistência do aglomerado que é utilizado na fabricação da argamassa, a armação longitudinal, o processo de perfuração e o emprego de ar comprimido na concretagem, em conjunto, concorrem para conferir à estaca uma adequada resistência estrutural e ótima aderência ao terreno, o que garante uma elevada capacidade de carga (NACIONAL, s.d.).

A estaca raiz pode ser utilizada nos seguintes casos:

- em áreas de dimensões reduzidas;
- em locais de difícil acesso;
- em solos com presença de matacões, rocha ou concreto;
- em solos onde existem “cavernas” ou “vazios”;
- em reforços de fundações;

- para contenção lateral de escavações;
- em locais onde haja necessidade de ausência de ruídos ou de vibrações;
- quando são expressivos os esforços horizontais transmitidos pela estrutura às estacas de fundação (muros de arrimo, pontes, carga de vento, etc.);
- quando existe esforço de tração a solicitar o topo das estacas (ancoragem de lajes de subpressão, pontes rolantes, torres de linha de transmissão, etc.).

3.12 Estacas Escavadas e Barretes

Estaca escavada, também chamada de estacão, é aquela com seção circular, executada por escavação mecânica com equipamento rotativo, utilizando lama bentonítica e concretada com uso de tremonha.

A estaca barrete possui seção retangular, executada por escavação com guindaste acoplado com "*clamshell*", também utilizando lama bentonítica e concretada com uso de tremonha.

Segundo a FUNDESP (1987), a lama bentonítica é constituída de água e bentonita, sendo esta última uma rocha vulcânica, onde o mineral predominante é a montimorilonita. No Brasil, existem jazidas de bentonita no Nordeste (Bahia e Rio Grande do Norte). Trata-se de um material tixotrópico que em dispersão muda seu estado físico por efeito da agitação (em repouso é gelatinosa com ação anti-infiltrante; agitada fluidifica-se). Seu efeito estabilizante é eficaz quando a pressão hidrostática da lama no interior da escavação é superior à exercida externamente pelo lençol e a granulometria do terreno é tal que possa impedir a dispersão da lama.

A coluna de lama exerce sobre as paredes da vala uma pressão que impede o desmoronamento, formando uma película impermeável denominada "*cake*", a qual dispensa o uso de revestimentos.

A lama bentonítica é preparada em uma instalação especial denominada central de lama, onde se faz a mistura da bentonita (transportada em pó, normalmente embalada em sacos de 50 kg) com água pura, em misturadores de alta turbulência, com uma concentração variando de 25 a 70 kg de bentonita por metro cúbico de água, em função da viscosidade e da densidade que se pretende obter. Na central há um laboratório para controle de qualidade (parâmetros exigidos pela Norma Brasileira de Projeto e Execução de Fundações NBR 6122).

De acordo com a FUNDESP (1987), os processos de execução usuais das estacas escavadas e dos barretes podem ser divididos nas seguintes operações básicas: escavação do terreno com preenchimento da perfuração com lama bentonítica, colocação da armadura (quando necessária) e concretagem submersa.

Para estaca escavada, o equipamento de escavação consta essencialmente de uma mesa rotativa que aciona uma haste telescópica ("*kelly-bar*") que tem acoplada em sua extremidade inferior a ferramenta de perfuração, cujo tipo varia em função da natureza do terreno a perfurar: trado, caçamba ou coroa (Figura 3.16). À medida que penetra no solo por rotação, a ferramenta se enche gradualmente e, quando cheia, a haste é levantada e a ferramenta automaticamente esvaziada por força centrífuga (trado) ou por abertura do fundo (caçamba).

A mesa rotativa ou perfuratriz, normalmente instalada em um guindaste de esteiras, é acionada por um motor diesel e transmite, por meio de um redutor, o movimento rotatório à haste telescópica. A mesa também é dotada de uma central hidráulica que comanda o "*pull down*" da haste telescópica para dar maior penetração à ferramenta de perfuração. As manobras da mesa são controladas pelo operador do guindaste que aciona um cabo de aço para descida e subida da haste telescópica.

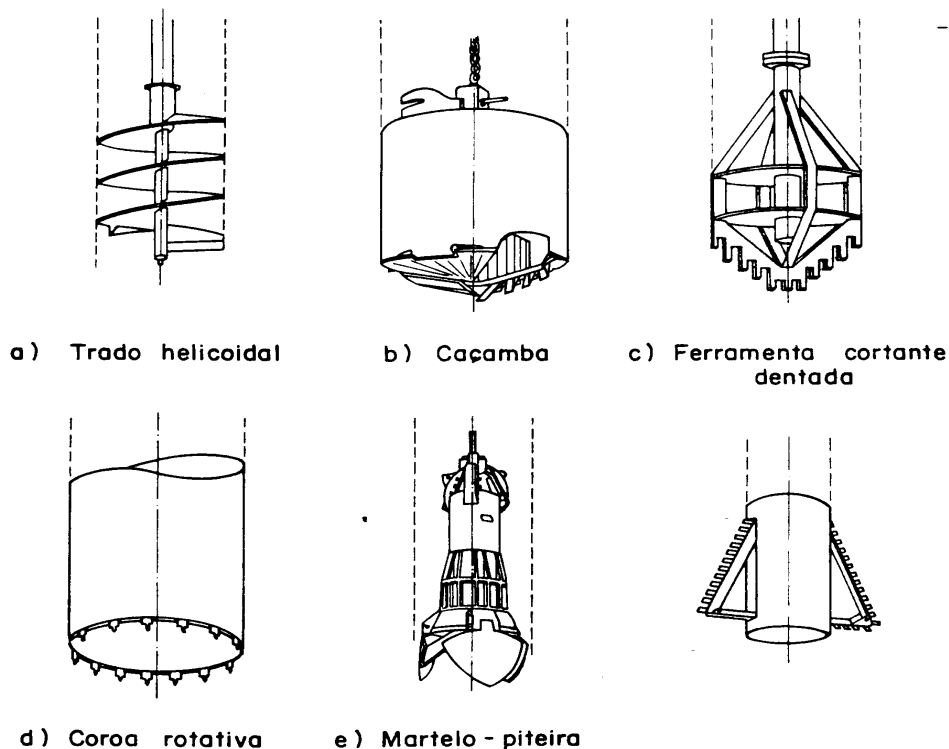


Figura 3.16: Ferramentas de perfuração

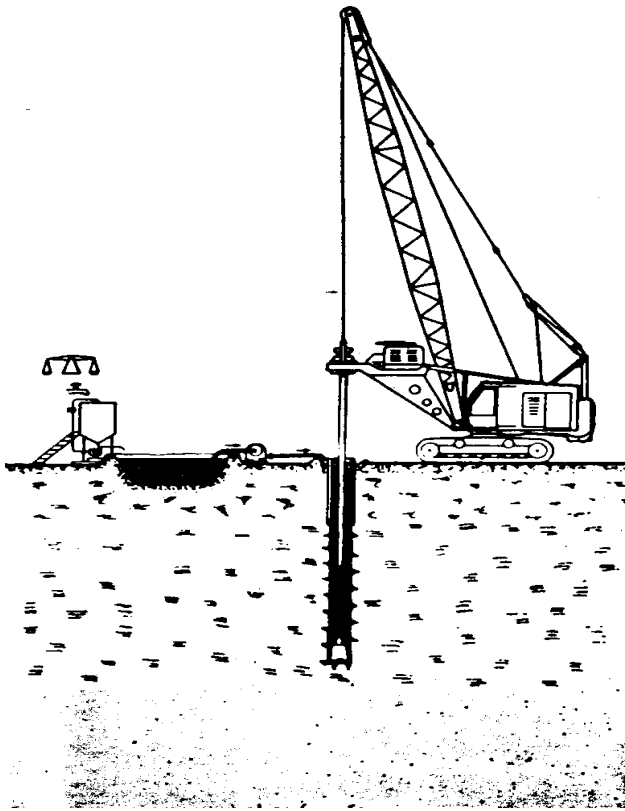


Figura 3.17: Perfuração em presença de lama bentonítica

Como geralmente existe possibilidade de desmoronamento das paredes da vala e a escavação atinge horizontes abaixo do lençol freático, a perfuração é executada em presença de lama bentonítica (Figura 3.17).

Terminada a perfuração inicia-se a colocação da armadura, com guindaste auxiliar ou com o próprio guindaste utilizado na abertura da escavação. A armadura deve ser dotada de roletes distanciadores para garantir o necessário cobrimento (aproximadamente 5 cm).

O sistema de concretagem é o submerso (Figura 3.18), aquele

executado de baixo para cima de modo uniforme. Tal processo consiste na aplicação de concreto por gravidade através de um tubo ("*tremie*"), central ao furo, munido de uma tremonha de alimentação (funil) cuja extremidade, durante a concretagem, deve estar convenientemente imersa no concreto. A fim de evitar que a lama se misture com o concreto lançado, coloca-se um obturador no interior do tubo, que funcionando como êmbolo, expulsa a lama pelo peso próprio da coluna de concreto. Prossegue-se a concretagem em um fluxo constante e regular de baixo para cima (não é possível interromper a concretagem uma vez iniciada).

No caso da estaca barrete, geralmente utiliza-se um equipamento de escavação denominado "*clamshell*" mecânico (Figura 3.19) ou hidráulico, com descida livre (cabo) ou com haste de guia ("*kelly*") que permite uma melhor condição de verticalidade da estaca. As demais técnicas executivas (uso de lama bentonítica, colocação da armadura e concretagem submersa) são substancialmente idênticas às das estacas escavadas.

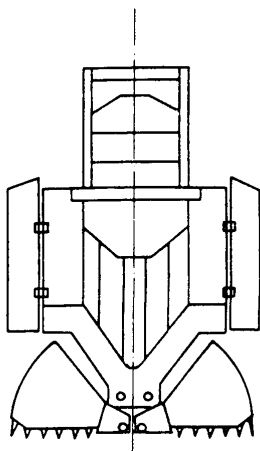


Figura 3.19: Clam-shell

As estacas escavadas e barretes possuem as seguintes características vantajosas:

- rápida execução; capacidade de suportar cargas elevadas;
- o solo fica livre de deformações, inclusive nas vizinhanças da obra, visto que não há vibração; não é capaz de afetar estruturas vizinhas;
- o comprimento das estacas é grande e pode ser muito variável (até 45 m, com cargas até 10.000 kN usualmente), além de prontamente alterado conforme conveniência, de furo para furo do terreno;
- o solo, à medida que se escava, pode ser inspecionado e comparado com dados de investigação do local, fazendo um *feedback* (realimentação) para o projeto de fundações;
- a armadura não depende do transporte ou das condições de cravação;
- importante quando há solo de grande dureza, que seria capaz de danificar estacas que fossem cravadas ou quando o volume de trabalho é menor e não compensa montagem de aparelhagem mais complexa (bate-estaca).

Para o barrete, pode-se acrescentar vantagens que sua seção não circular (escavada com "*clamshell*") pode representar no "*layout*" do edifício. Os pilares que saem do barrete podem ser alargados em uma direção, se encaixando melhor nos pavimentos de garagem, quando o espaço é restrito.

Por outro lado, as estacas escavadas e barretes possuem as seguintes desvantagens:

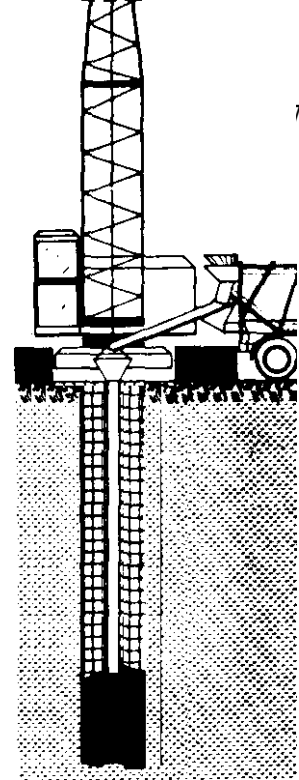


Figura 3.18: Concretagem submersa

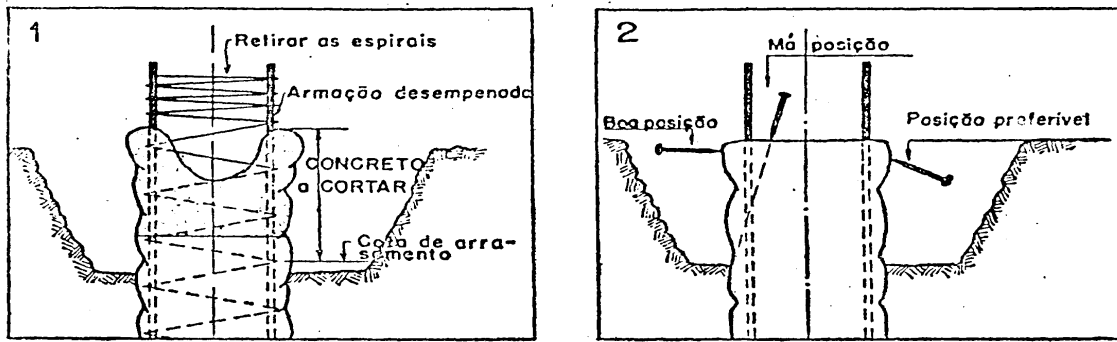
- os métodos de escavação podem afogar solos arenosos ou pedregulhos, ou transformar rochas moles em lama, como o calcário mole ou marga;
- necessidade de local nas proximidades para deposição de solo escavado;
- susceptíveis a estrangulamento da seção em caso de solos compressíveis;
- dificuldade na concretagem submersa, pois há impossibilidade de verificar e inspecionar posteriormente o concreto; falta de confiança que oferece o concreto fabricado *in situ* (quando for o caso); depois de pronta a estaca, nunca se sabe como os materiais nela se encontram;
- entrada de água pode causar danos ao concreto, caso não tenha ainda ocorrido a pega; a água subterrânea pode lavar o concreto ou pode reduzir a capacidade de carga da estaca por alteração do solo circundante; quando a estaca fica abaixo do lençol freático e a vedação inferior da estaca depender apenas do concreto, este deve ser compacto e impermeável (concretos com baixa relação água/cimento); também deve-se tomar cuidado com possíveis ataques de agentes químicos da água e do solo sobre o concreto.

CONTROLE DE EXECUÇÃO

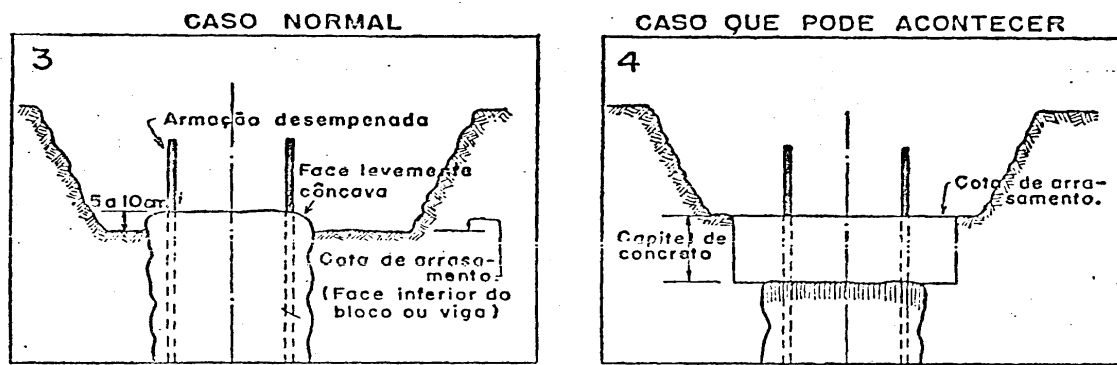
- locação do centro da estaca;
- profundidade de escavação;
- velocidade de concretagem e ascensão da tremonha;
- colocação da armadura.

4. ARRASAMENTO DE ESTACA

Há necessidade de se preparar a cabeça das estacas para sua perfeita ligação com os elementos estruturais. O concreto da cabeça da estaca geralmente é de qualidade inferior, pois ao final da concretagem há subida de excesso de argamassa, ausência de pedra britada e possibilidade de contaminação com o barro em volta das estacas. Por isso, a concretagem da estaca deve terminar no mínimo 20 cm acima da cota de arrasamento. É uma operação manual com auxílio de um ponteiro e marreta e o sentido do corte deve ser de baixo para cima. A Figura 4.1 ilustra esta operação.



CABEÇA da ESTACA, JÁ APARELHADA



LIGAÇÃO nos BLOCOS ou VIGAS

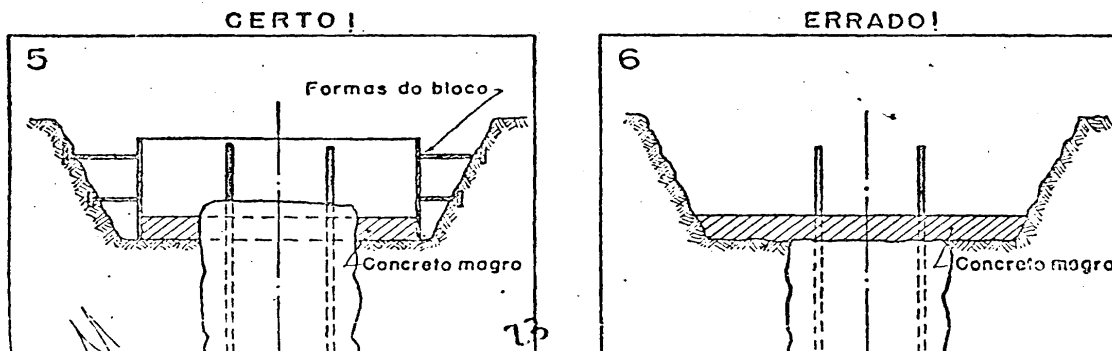


Figura 4.1 : Procedimento para arrasamento de estacas

BIBLIOGRAFIA

_____, Notas de Aula, Fundações. PCC 435. São Paulo, EPUSP, s.d..

ALONSO, Urbano Rodriguez. **Fundações e infraestruturas-palestras**. São Paulo, Estacas Franki Ltda.,1979.

APEMOL - Associação Paulista de Empresas Executoras de Estacas Moldadas no Local - Sistema Strauss. **Especificação da execução de estacas tipo Strauss**. São Paulo, APEMOL, s.d..

AZEREDO, Hélio Alves de. **O Edifício Até sua Cobertura**. São Paulo. Ed. Edgar Blucher Ltda.,1977.

BRITO, José Luis Wey de. **Fundações do edifício**. São Paulo, EPUSP, 1987.

ESTACAS FRANKI LTDA.,Catálogo. Rio de Janeiro, Estacas Franki Ltda., s.d..

FABIANI, Breno. **Fundações**. s.d..

FUNDESP- Fundações, Indústria e Comercio S/A. . Catálogo. São Paulo, Fundesp, 1987.

NACIONAL - Engenharia de Fundações e Solos Ltda. **Tecnologia em estacas do tipo raiz**. São Paulo, Nacional, s.d..

SCAC - Sociedade do Concreto Centrifugado S.A.. **Estacas - elementos técnicos**. São Paulo, SCAC, s.d..V.2.