

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ESTRUTURAL E**  
**CONSTRUÇÃO CIVIL**

**NOTAS DE AULAS**  
**CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS I**  
**FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS E PROFUNDAS**

**Profa. Tereza Denyse P. de Araújo**

**Fevereiro 2003**

# FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS E PROFUNDAS

- 1. INTRODUÇÃO**
- 2. SONDAGEM DO TERRENO**
- 3. MOVIMENTO DE TERRA**
- 4. TIPOS DE FUNDAÇÕES**
- 8. BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR**

## 1. INTRODUÇÃO

Fundações são elementos estruturais destinados a transmitir ao terreno as cargas da estrutura. Devem ter resistência adequada para suportar as tensões causadas pelos esforços solicitantes. O solo deve ter resistência e rigidez apropriada para não sofrer ruptura e não apresentar deformações exageradas ou diferenciais.

## 2. SONDAGEM DO TERRENO

Uma avaliação cuidadosa do subsolo permite conhecer suas condições, isto é, sua disposição, sua natureza e a espessura de suas camadas, bem como suas características, nível de água e pressão, dando condições de determinar o tipo da estrutura de fundação a ser especificada. Essa avaliação é feita através de sondagens.

O tipo de sondagem a ser utilizada depende do vulto e das características da edificação, bem como das características do terreno. A sondagem mais comum em solos penetráveis é a Sondagem de Reconhecimento, que utiliza o método de percussão com circulação de água. Este método consiste na cravação de um barrilete amostrador (Figura 1), que penetra no solo e retira amostras, que são analisadas visualmente e em laboratório a fim de classificá-lo e determinar o SPT (*Standard Penetration Test*).

O SPT é o registro do número de golpes necessários para vencer os dois últimos terços de cada metro, para a penetração de 15 cm.

A sondagem em solos impenetráveis é feita utilizando equipamentos de perfuração rotativa, que permite a obtenção de amostras, que são ensaiados em laboratório.

O número de pontos de sondagem, o posicionamento dos furos no terreno (levando em conta a posição relativa do edifício) e a profundidade a ser atingida são determinadas por profissional capacitado, tomando como base à norma NBR-8036 e sua experiência.

Os resultados são apresentados em um relatório escrito (Figura 3) e outro gráfico (Figura 2), contendo as seguintes informações:

- Planta de situação dos furos de sondagem;
- Perfil de cada sondagem com as cotas de onde foram retiradas as amostras;

- Classificação das diversas camadas e os ensaios que permitiram classificá-las;
- Nível do terreno e os diversos lençóis de água, com as respectivas pressões;
- Resistência à penetração do barrilete amostrador, indicando o diâmetro do barrilete, o peso do pilão e a altura da queda.

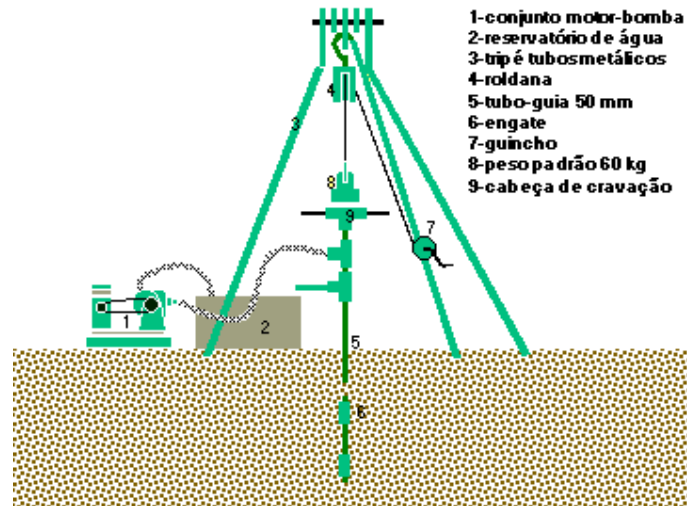


Figura 1. Equipamento de sondagem a percussão.

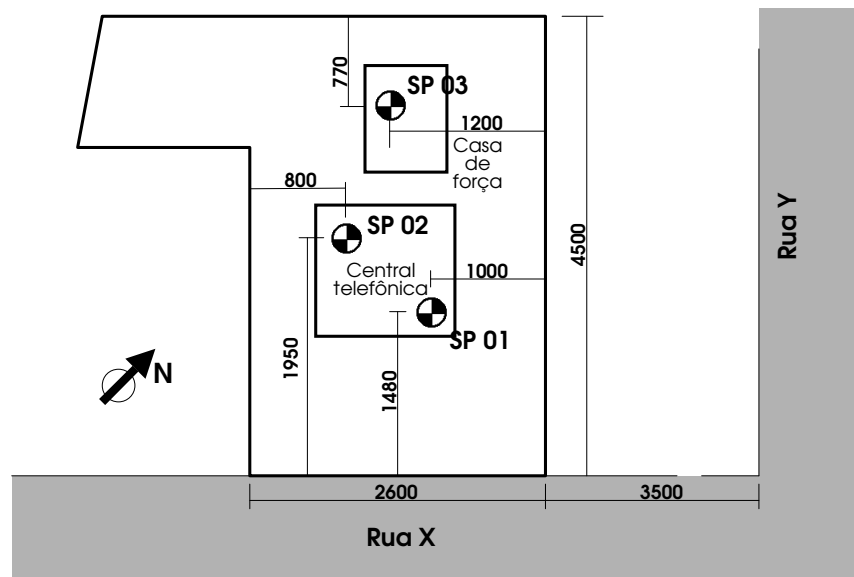


Figura 2. Planta de localização dos furos de sondagem

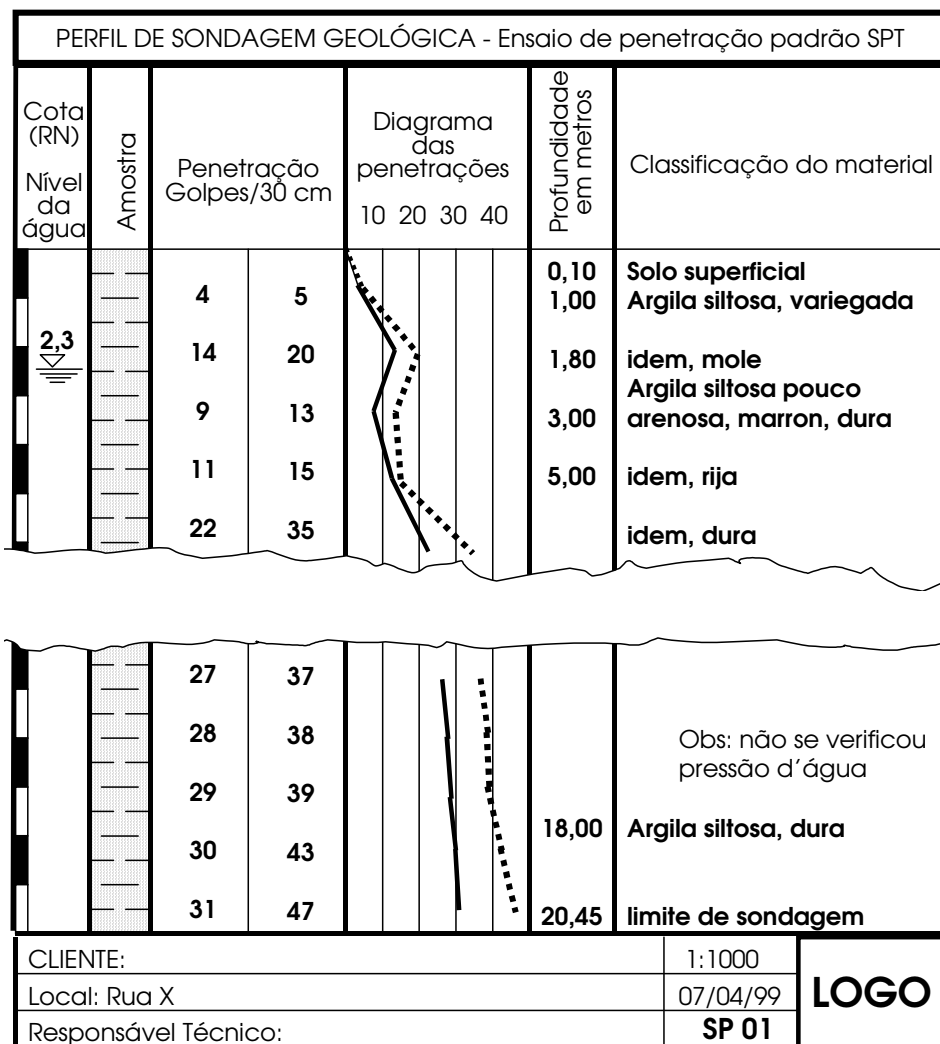


Figura 3. Perfil de sondagem geológica (laudo técnico)

### 3. MOVIMENTO DE TERRA

O movimento de terra, ou terraplenagem, é entendido como um conjunto de operações de escavação, carga, transporte, descarga, compactação e acabamentos, executados a fim de passar um terreno no estado natural para uma nova conformação topográfica desejada.

O instante em que ocorre é variável e depende das características de execução das fundações e contenção das construções vizinhas. O momento mais conveniente, portanto, deve ser cuidadosamente estudado, em função das demais atividades de início da obra e do cronograma de execução.

São três os tipos de movimento de terra possíveis, no caso de edifícios: corte, aterro e misto. O último tipo de operação é o mais comum na prática, sendo que a operação de aterro é sempre acompanhada de serviços de compactação. A definição do tipo de movimento a ser utilizado é feita a partir do resultado de sondagem do terreno.

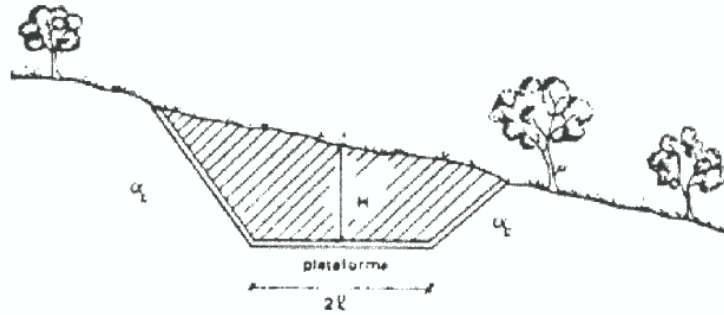


Figura 4. Corte.

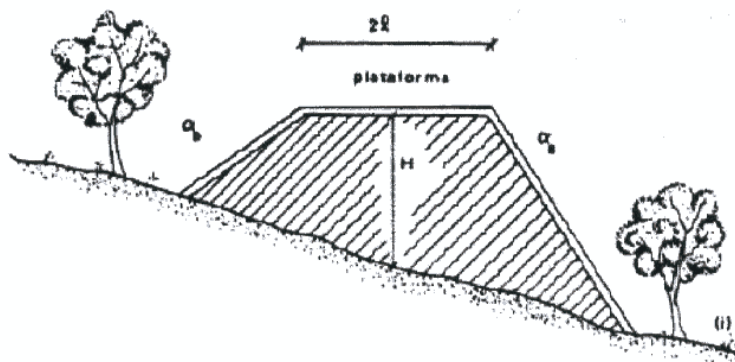


Figura 5. Aterro.

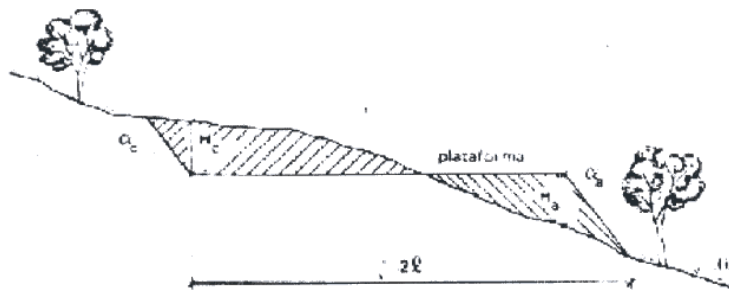


Figura 6. Seção mista.

Estes serviços podem ser executados por quatro processos:

- Manual – executado pelo homem, utilizando as seguintes ferramentas (Figura 7): pá, enxada e carrinho de mão;
- Motorizado – neste caso, o material é transportado em caminhões ou basculantes, sendo que a escavação pode ser manual ou por máquinas: *traxcavator*, *draglines*;
- Mecanizado – a escavação, o carregamento e o transporte são efetuados por máquinas. É utilizado em obras industriais;

- Hidráulico – a terra é transportada pela água (dragagem).

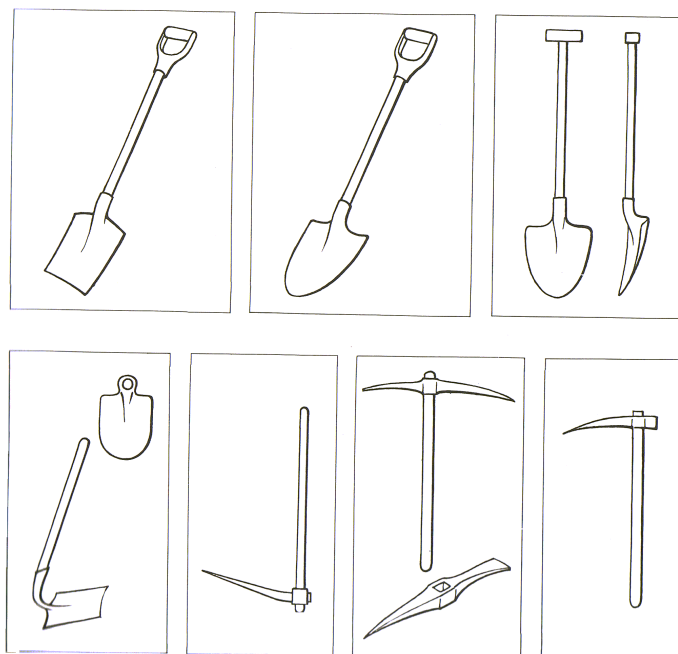


Figura 7. Ferramentas manuais: pás, enxadas e picaretas.

No movimento de terra deve-se considerar o **empolamento**, que é o aumento de volume do solo após o corte e é expresso em porcentagem do volume original. Por exemplo: o aumento volumétrico da argila é 40 %, o que significa que 1,00 m<sup>3</sup> de argila, antes da escavação, encherá um espaço de 1,40 m<sup>3</sup> depois de escavada.

A Tabela 1 apresenta as características de alguns materiais e os fatores médios de conversão, de volumes, para alguns tipos de terrenos. Estes fatores de conversão são usados para multiplicar os volumes que se quer converter de uma para outra situação.

Tabela 1. Características de Alguns Materiais

Material	Kg/m <sup>3</sup> corte	Kg/m <sup>3</sup> solto	% empolamento	Fator de conversão
Argila	1722	1261	40	0,72
Argila com pedregulho seco	1607	1151	40	0,72
Argila com pedregulho molhado	1836	1322	40	0,72
Terra comum seca	1564	1251	25	0,80
Terra comum molhada	2008	1606	25	0,80
Areia seca solta	1607	1430	12	0,89
Areia molhada compacta	2088	1856	12	0,89
Pedregulho $\phi$ 1,0 a 5,0 cm seco	1895	1687	12	0,89
Pedregulho $\phi$ 1,0 a 5,0 cm molhado	2255	2007	12	0,89

Alguns cuidados devem ser tomados quando da execução dos serviços de movimento de terra, que são:

- Controle da cota de fundo da escavação: pode ser feito utilizando teodolito, ou uma mangueira de nível com o auxílio de estacas ou piquetes. Neste caso, o nível de referência é marcado sobre as estacas que vão sendo deslocadas à medida que vai sendo escavado.
- Controle de inclinação dos taludes: é função do tipo de solo a ser escavado e das condições da vizinhança do serviço de terraplenagem. O controle da inclinação é feito à medida que o talude vai sendo escavado, com o auxílio de um gabarito construído em madeira na declividade desejada.

### 3.1. Equipamentos

- **Pás mecânicas** (Figura 8) – consistem de um trator e uma colher regulável na altura, situada na parte dianteira. São utilizadas para preparar o terreno, arrancar a parte superior do terreno ( $\approx 5$  cm) e desmontes. Apresentam maior rendimento em zonas com desnível.

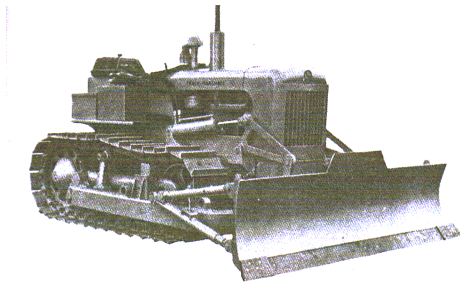


Figura 8. Pá mecânica.

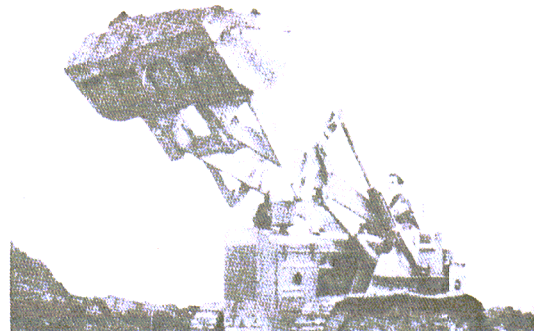


Figura 9. Escavadeira.

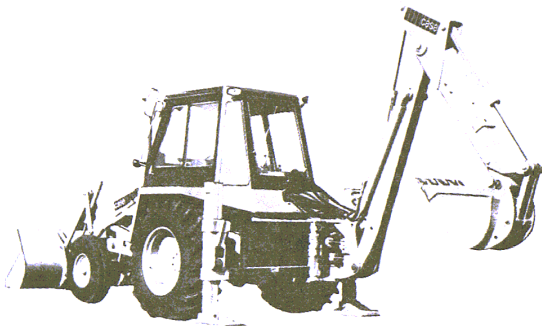


Figura 10. Retroescavadeira.

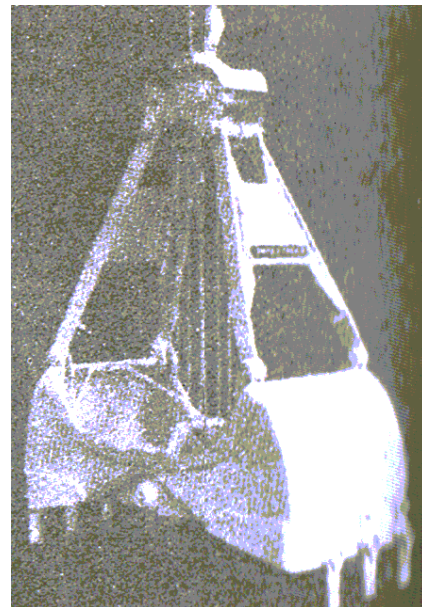


Figura 11. Colher bivalve (*Clam-Shell*).

- **Pás escavadoras** (Figura 9) – são montadas sobre lagartas, rodas, caminhão. Trabalham estacionadas e realizam escavações em seu nível ou abaixo dela.

Realizam as operações de cravar a colher, levantar a carga, girar lança para descarregar e movimentam-se de acordo com o avanço dos trabalhos.

- **Retroescavadeiras** (Figura 10) – realizam operações de aberturas de trincheiras e valas em nível inferior ao da sua base de sustentação.
- **Colher bivalve** (Figura 11) – não é utilizada como pá, apenas remove o material.

### 3.2. Serviços de Escavação

São serviços que visam à retirada de solo de um determinado terreno, a fim de se atingir a profundidade ou a cota necessária para a execução de uma determinada construção. São executados em obras de edifícios, metrô, rodovias, canais, barragens, aeroportos, etc.

Os serviços de escavação são caracterizados pelos seguintes aspectos:

- Quantidade de solo a ser removido;
- Localização da escavação;
- Dimensões da escavação;
- Tipo de solo a ser escavado;
- Destino dado ao material retirado.

Baseado nestes diferentes aspectos, as escavações, para a construção de edifícios, podem ser classificadas nas seguintes categorias:

- **Escavações de grandes volumes em áreas limitadas** – são comuns na construção de edifícios em que um ou dois subsolos enterrados são construídos, cujas escavações atingem mais de 10 m de profundidade. O equipamento de escavação é disposto dentro da área a ser escavada, sendo que ele escava no sentido do meio para os limites do terreno. O material escavado é retirado por caminhões, através de rampas. A configuração escavação resulta em contornos verticais, ou quase, contidos artificialmente. Equipamentos: escavadeira e a pá-carregadeira (pequenos volumes e profundidades inferiores a 2,0 m).

A escavação por escavadeira pode ser de duas formas de ataque: paralela, onde a escavadeira avança paralelamente a superfície escavada; frontal, onde o avanço se dá perpendicularmente à superfície, apresentando maior rendimento.

- **Escavações de grandes volumes em grandes áreas** – são escavações típicas de terraplenagem. Como não têm limitações de dimensões, são limitadas por rampas suaves, facilitando a retirada do material. Equipamento: *scrapers* (escavam e transportam o solo).
- **Escavações de solos não consolidados**, sobretudo argilas e siltes – são executadas na presença de água, como em margens de rios, canais, encostas marítimas, portos, etc. o equipamento de escavação, neste caso, fica locado na parte não escavada. Equipamentos: pás-de-arrasto.
- **Escavações verticais em áreas limitadas** – são executadas em solos não coesivos ou sem a presença de água, sendo indispensável à execução de contenções laterais. O equipamento

de escavação é disposto fora da escavação, retirando o solo verticalmente. Equipamentos: escavadeiras de conchas.

- **Aberturas de valas** – esta escavação se caracteriza por apresentar duas dimensões bem definidas e de pequena extensão: largura e profundidade, sendo o comprimento bastante grande. É utilizada na execução de obras lineares (galerias, túneis de metrô, adutoras, etc.). Em geral, é uma escavação provisória, ou seja, a vala é aberta com ou sem contenção vertical, a obra é executada e a vala é aterrada. O equipamento de escavação é também disposto fora da área escavada. Equipamentos: retroescavadeiras, escavadeiras de conchas.

Os serviços de escavação são, em geral, executados segundo os mais diferentes processos construtivos, desenvolvidos a partir de estudos teóricos do problema e da vivência prática na área.

#### 4. TIPOS DE FUNDAÇÕES

As fundações são classificadas em fundações diretas ou rasas e indiretas ou profundas.

As fundações diretas ou rasas são aquelas em que a carga da estrutura é transmitida diretamente ao solo pela fundação. São executadas em valas rasas, com profundidade máxima de 3,0 metros, e caracterizadas por blocos, alicerces, sapatas e radiers.

As fundações indiretas ou profundas são aquelas que transferem a carga por efeito de atrito lateral do elemento com o solo e por meio de um fuste. Estas estruturas de transmissão podem ser estacas ou tubulões.

##### 4.1. Fundações Diretas

###### 4.1.1. Blocos e Alicerces

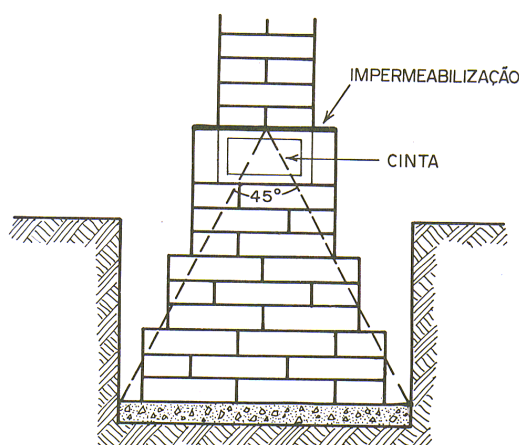


Figura 12. Bloco.

Blocos e alicerces são geralmente utilizados em obras cujas cargas atuantes são pequenas. Os blocos (Figura 12) são elementos estruturais de grande rigidez, ligados por vigas chamadas **baldrames**, que suportam esforços de compressão simples provenientes dos pilares. Eventuais esforços de tração são absorvidos pelo material do bloco. Podem ser de concreto

simples, alvenarias de tijolos comuns ou de pedra de mão. São usados, em geral, quando a profundidade da camada resistente do solo está entre 0,5 e 1,0 m.

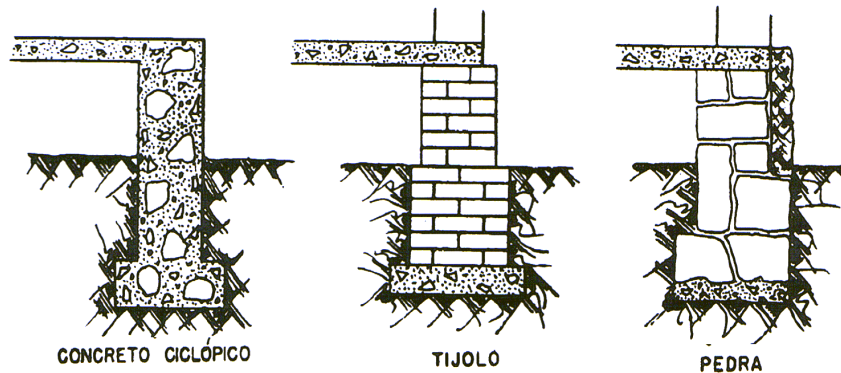


Figura 13. Alicerces.

Os alicerces (Figura 13) são usados na construção de pequenas residências e suportam as cargas provenientes das paredes resistentes. São construídos de forma contínua, em valas de pouca profundidade, entre 0,50 a 1,20 m, e largura variando conforme a carga das paredes. Podem ser de concreto, de alvenaria ou de pedra.

Deve-se observar que se o terreno for em declive, o alicerce, ou o bloco, deve ser construído escalonado.

#### 4.1.2. Sapatas

São estruturas que trabalham a compressão e a flexão. Podem ser executadas de forma isoladas, associadas ou combinadas, e contínuas sob pilares ou muros.

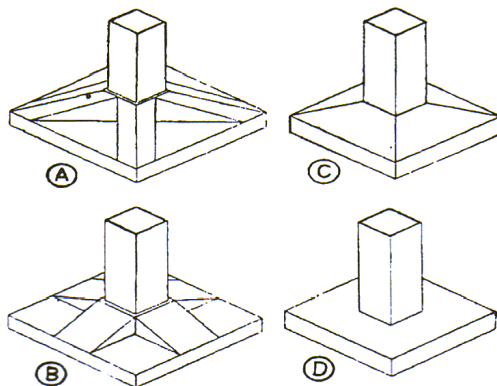


Figura 14. Sapatas isoladas.

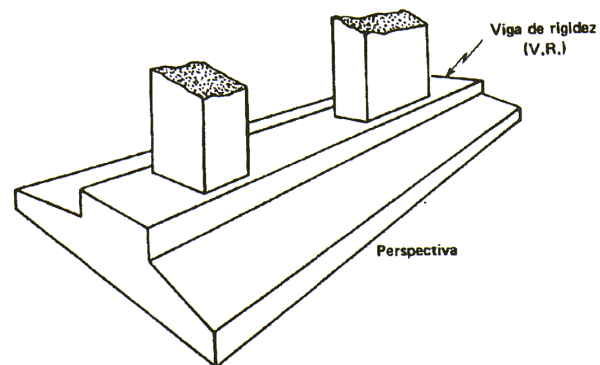


Figura 15. Sapata associada.

- **Sapatas isoladas** (Figura 14) – transmitem para o solo a carga de um pilar e são construídas em concreto armado;
- **Sapatas associadas** (Figura 15) – são construídas no caso em que dois ou mais pilares estão muito próximos tal que as sapatas isoladas se superpõem. Os pilares são unidos por uma viga de rigidez, cuja função é permitir que a sapata trabalhe a tensão constante;

- **Sapatas corridas** (Figura 16) – são elementos contínuos que acompanham a linha das paredes. Podem ser construídos em alvenaria de tijolos para edifícios com cargas não muito grandes (residências) e concreto armado em caso contrário, ou para profundidades maiores do que 1,0 m.
- **Sapatas alavancadas** (Figura 17) – são vigas que ligam duas sapatas, a fim de absorver o momento resultante da excentricidade de posição de outro pilar. Pode-se citar, por exemplo, as sapatas de pilares de divisa, ou próximos a obstáculos, em que o centro de gravidade da sapata não coincide com o centro de carga do pilar.

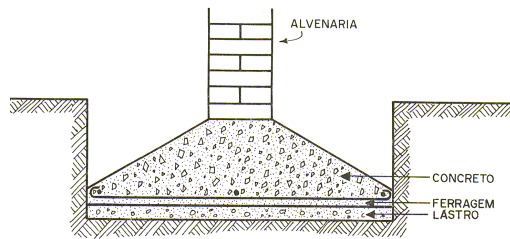


Figura 16. Sapata corrida.

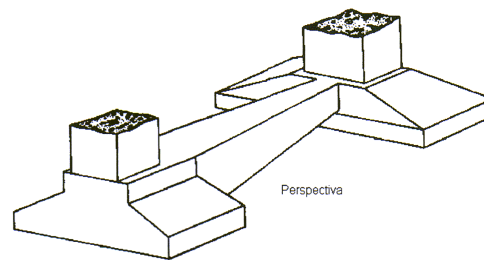


Figura 17. Sapata alavancada.

#### 4.1.3. Radiers

É um sistema de fundação que reúne num só elemento de transmissão de carga, um conjunto de pilares. Consiste de uma placa contínua em toda a área da construção, a fim de distribuir a carga em toda a superfície. É indicada para solos fracos e solos cuja camada resistente encontra-se a grande profundidade. São executadas em concreto armado, podendo ser somente uma laje (sistema flexível - Figura 18) ou um sistema de laje e vigas (sistema rígido - Figura 19). Uma das principais vantagens desse sistema é que sua execução cria uma plataforma de trabalho para os serviços posteriores; em contrapartida, força a execução precoce de todos os serviços enterrados na área do radier.

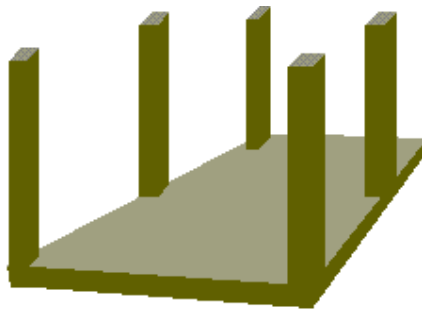


Figura 18. Radier flexível.

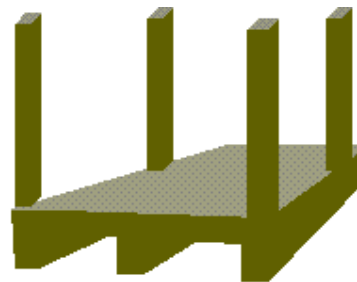


Figura 19. Radier rígido.

#### 4.1.4. Execução

Em geral, deve-se considerar os seguintes cuidados na execução de fundações diretas ou rasas:

- Executar o escoramento adequado na escavação das valas com profundidades maiores que 1,5 m, quando o solo for instável;

- b) Consolidar o fundo da vala, com a regularização e compactação do material (apiloamento);
- c) Executar o lastro de concreto magro (5 a 10 cm de espessura), para melhor distribuir as cargas quando se tratar de alicerces de alvenaria de tijolos ou pedras, ou proteger o concreto estrutural, quando se tratar de sapatas;
- d) Determinar um sistema de drenagem para viabilizar a execução, quando houver necessidade;
- e) Construir uma cinta de amarração a fim de absorver esforços não previstos, recalques diferenciais, distribuir o carregamento e combater os esforços horizontais;
- f) Determinar um processo de impermeabilização da fundação acima do soco, para não permitir a percolação capilar;
- g) Controlar a locação do centro dos blocos e das linhas das paredes e a cota do fundo da vala.

## 4.2. Fundações Indiretas

São caracterizadas pelo comprimento preponderante em relação à seção transversal.

### 4.2.1. 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. São classificados de acordo com o método de escavação: tubulões a céu aberto e tubulões a ar comprimido.

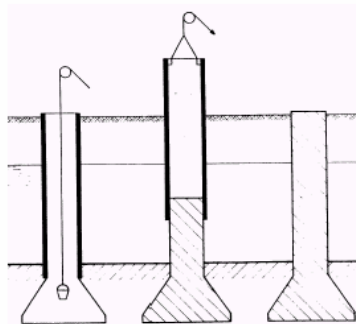


Figura 20. Tubulões a céu aberto.

- **Tubulões a céu aberto** (Figura 20) – consiste na escavação manual de um poço com diâmetro variando de 0,70 a 1,20 m, sendo restrito a solos coesivos e acima do nível de água. Se houver tendência ao desmoronamento, o furo é revestido com alvenaria de tijolo, tubo de concreto ou de aço. O fuste é escavado até a cota desejada, a base é alargada e posteriormente preenchida com concreto simples ou armado. Na escavação utiliza-se pá, picareta e cortadeira; na retirada do material utiliza-se balde e sarrilho. O lançamento do concreto é feito da superfície, através de um funil com comprimento em torno de cinco vezes o diâmetro do tubulão, a fim de evitar que o concreto bata em suas paredes e se misture com a terra. O concreto se espalha pela base devido ao próprio impacto da

descarga, no entanto, deve-se interromper a concretagem, de vez em quando, e descer para espalhá-lo de modo a evitar vazios na massa de concreto.

- **Tubulões a ar comprimido** – quando ocorre à presença de água em grandes profundidades, indica-se o uso de tubulões executados sob ar comprimido. A injeção de ar comprimido impede que a água penetre no tubulão, permitindo que sejam executados os trabalhos de escavação (manual ou com uso de marteletes e até explosivos, se necessário), alargamento do fuste e concretagem. A pressurização é feita por compressor de ar, campânula ou câmara de equilíbrio de pressão, conjuntos de anéis de chapas de aço, anéis de concreto, escada tipo marinheiro, guincho e baldes, marteletes a ar comprimido, entre outros. Ver a seqüência de execução destes tubulões na Figura 21.

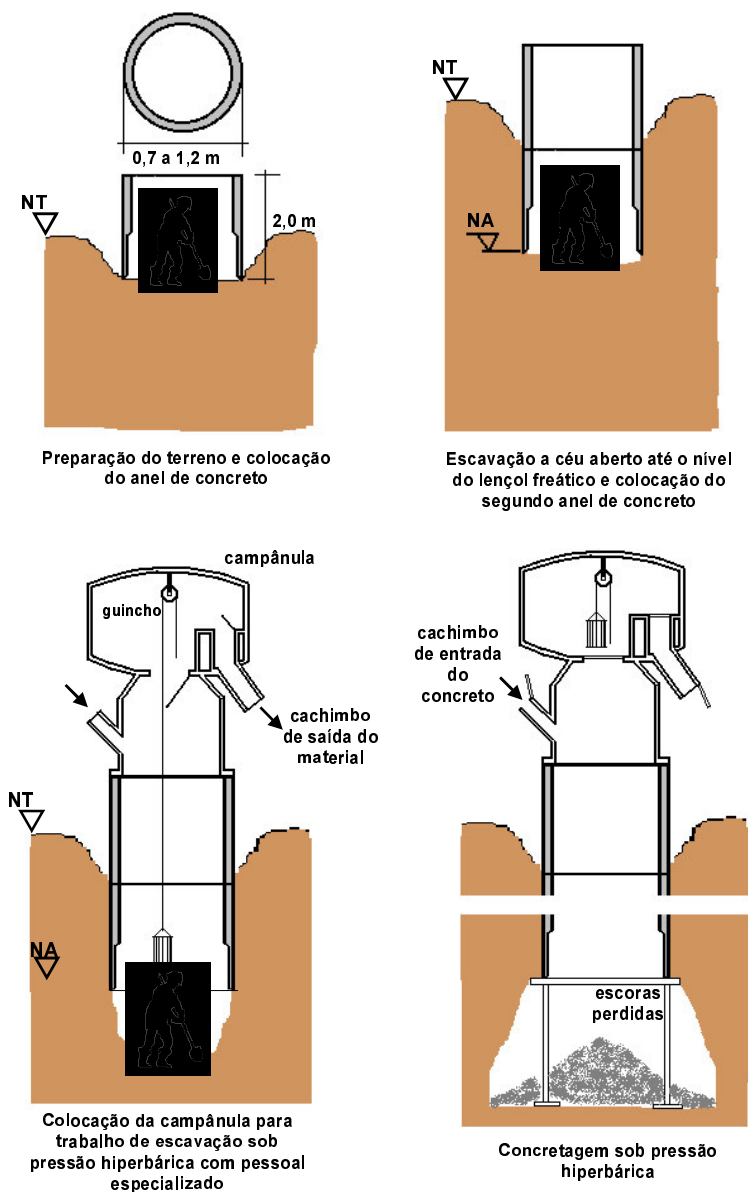


Figura 21. Seqüência de execução de tubulões a ar comprimido.

A execução destes tubulões é considerada um trabalho de alto risco para o trabalhador, pois o ambiente é insalubre, podendo ser realizado por firma registrada com pessoal especializado, usando técnicas e equipamentos especiais (NR-15).

**4.2.2. Estacas**

São peças estruturais alongadas, de formato cilíndrico ou prismático, que podem ser pré-fabricadas ou confeccionadas no canteiro, utilizadas na transmissão de cargas às camadas profundas do terreno; na contenção dos empuxos de terra ou de água; e na compactação de terrenos. São, em geral, usadas quando a taxa admissível do terreno é inferior ao carregamento transmitido pela estrutura, ou quando a fundação direta fica sujeita a recalque incompatível com a estrutura a ser construída.

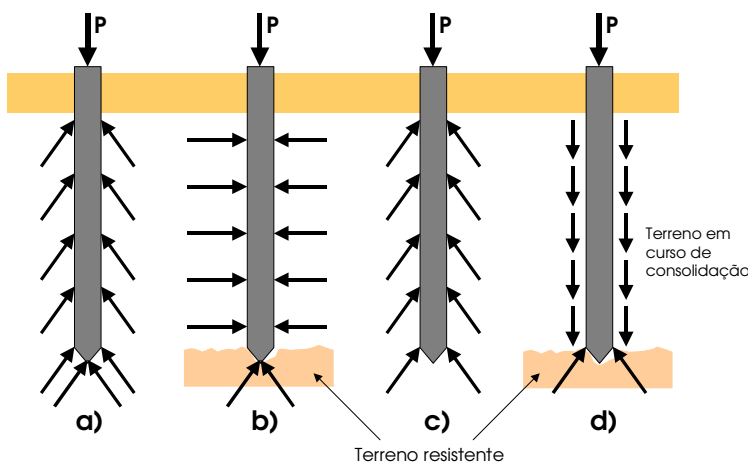


Figura 22. Tipo de estacas quanto à sua resistência.

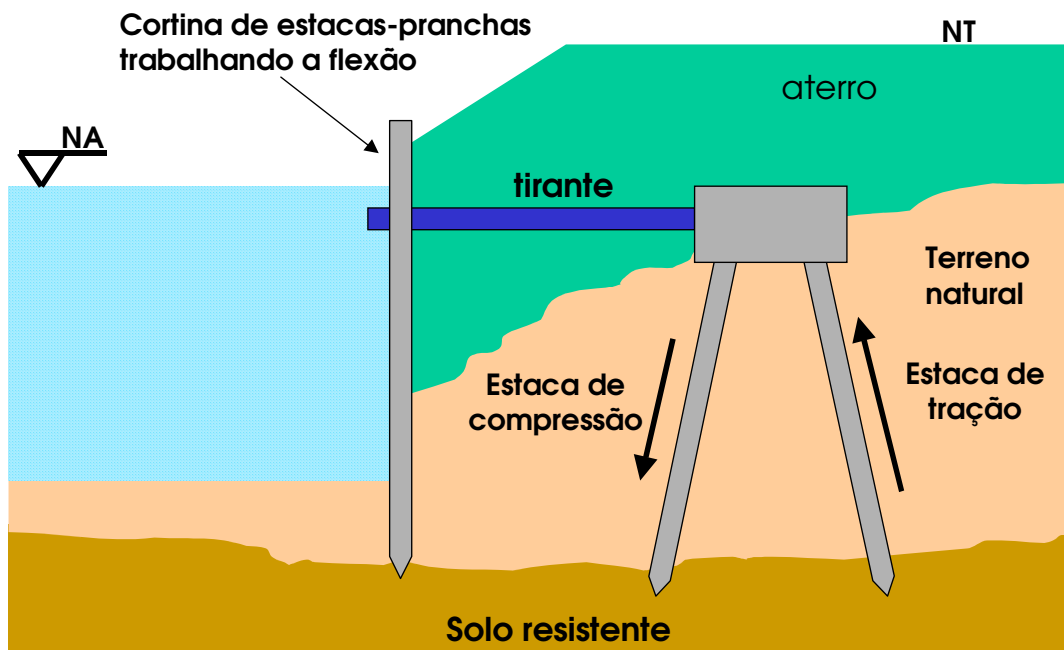


Figura 23. Estacas submetidas a diversos esforços.

As estacas estão sujeitas a esforços axiais de compressão, que podem ser resistidos pelo atrito lateral de suas paredes contra o solo, ou pelas reações exercidas pelo solo sobre a ponta da peça. Se a estaca resiste ao esforço solicitante apenas pelo atrito lateral, ela é chamada de estaca flutuante; se resistir apenas pela ponta, chama-se estaca carregada de ponta. A Figura 22 mostra as diversas maneiras possíveis de resistência da estaca. A estaca (a) resiste aos esforços pelo atrito lateral e pela ponta; a (b) resiste pela ponta, trabalhando como um pilar; a (c) resiste pelo atrito lateral; e a estaca (d) quando atravessa a camada de solo produz um atrito negativo que favorece a sua penetração; este tipo de estaca é favorecido pelo tipo de terreno que se adensa sob seu próprio peso, ou sob a ação de uma camada de aterro sobrejacente.

Quanto à posição das estacas, elas podem verticais e inclinadas; quanto aos esforços a que estão sujeitas, elas podem ser classificadas como estacas de compressão, tração e flexão (Figura 23).

- **Estacas de sustentação** – são as estacas que transmitem as cargas às camadas do terreno. Podem ser classificadas em estacas de madeira, estacas de concreto e estacas metálicas.

- **Estacas de madeira** – devem ser de madeira dura, resistente, em peças retas, roliças e descascadas.

Diâmetro: 18 a 35 cm.

Comprimento: 5 a 8 metros, limitado a 12 m com emendas feitas com talas de chapas metálicas e parafusos (dimensionados).

Carga: 10 t a 15 t.

Vida útil: praticamente ilimitada quando mantida permanentemente sob lençol freático. Variações de umidade fazem com que apodreçam rapidamente. Deve receber tratamento de preservação para evitar apodrecimento e contra ataques de insetos xilófagos.

Madeiras usadas: eucalipto, peroba do campo, aroeira, ipê.

Execução: é cravada com bate-estacas, sendo que as cabeças das estacas devem ser protegidas por um anel cilíndrico de aço, a fim de que não ocorra seu rompimento sob os golpes do pilão. Recomenda-se também o emprego de uma ponteira metálica para facilitar a penetração e proteger a ponta da madeira.

Vantagens: não oferecem problemas de transporte e manuseio; possuem facilidade de corte, de serem obtidas em comprimentos variáveis e de emendas; são de baixo custo.

Desvantagens: são sujeitas ao apodrecimento, afetando sua durabilidade.

Cálculo do diâmetro: empírico –  $D = 0,15 + 0,02L$ , onde L é o comprimento da estaca.

- **Estacas de concreto** – podem ser moldadas no local (*in loco*) ou pré-moldadas, cravadas com equipamento mecânico. Na primeira categoria, estão as estacas brocas, as estacas strauss, as estacas franki e as estacas tipo raiz. Na segunda, estão as estacas pré-moldadas de concreto.

- **Estacas brocas** – são estacas executadas sem molde, cuja ferramenta é o trado (de concha ou helicoidal).

Diâmetro: 15 a 25 cm.

Comprimento: aproximadamente 5 m, sendo que só pode ser executada acima do nível do lençol freático, para evitar o estrangulamento do fuste.

Espaçamento entre estacas: não pode ultrapassar a 4 m, devendo ser colocadas nas interseções de paredes, de forma equidistante, conforme mostra a Figura 24.

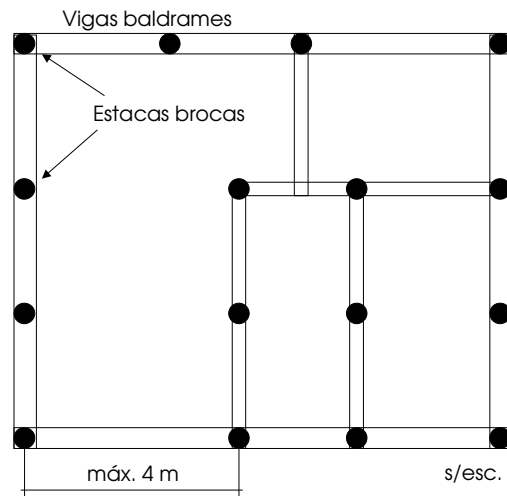


Figura 24. Distribuição das estacas brocas.

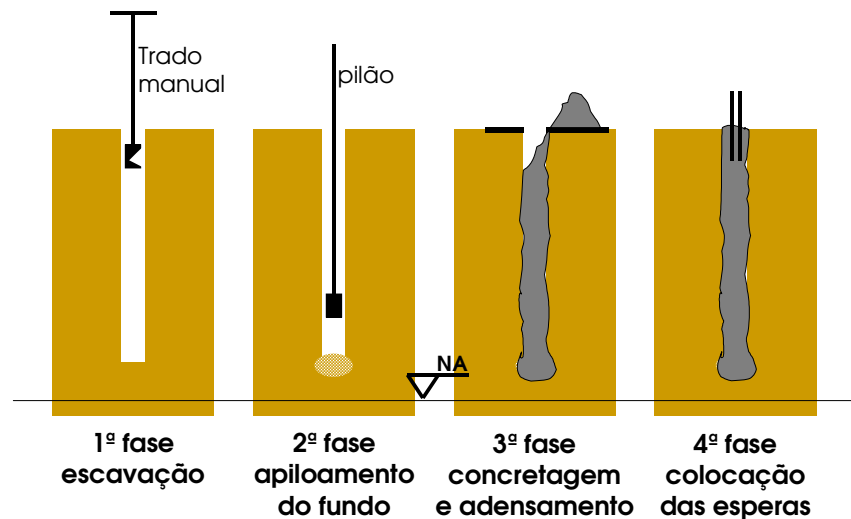


Figura 25. Execução das estacas brocas.

Carga: 50 kN a 100 kN.

Execução (Figura 25):

- Escavação ou perfuração do furo com trado manual, usando água para facilitar a perfuração;

- b) Atingindo a profundidade desejada, apiloa-se o fundo, executando um pequeno bulbo com um pilão metálico e usando pedra britada 2 ou 3;
- c) Preenche-se o furo com concreto (traço 1:3:4), adensando e tomando cuidados especiais para não contaminar o concreto;
- d) Fazer o acabamento na cota de arrasamento (cota superior da estaca definida em projeto) desejada, fixando os arranques para os baldrames.

Desvantagens: baixa capacidade de carga; há perigo de estrangulamento do fuste; não existe garantia de verticalidade.

Estas estacas podem ser agrupadas duas a duas, dependendo da carga a ser distribuída, e amarradas por pequenos blocos de concreto armado (Figura 26). Elas também devem ser solidarizadas por meio de vigas baldrames, evitando deixar estacas isoladas.

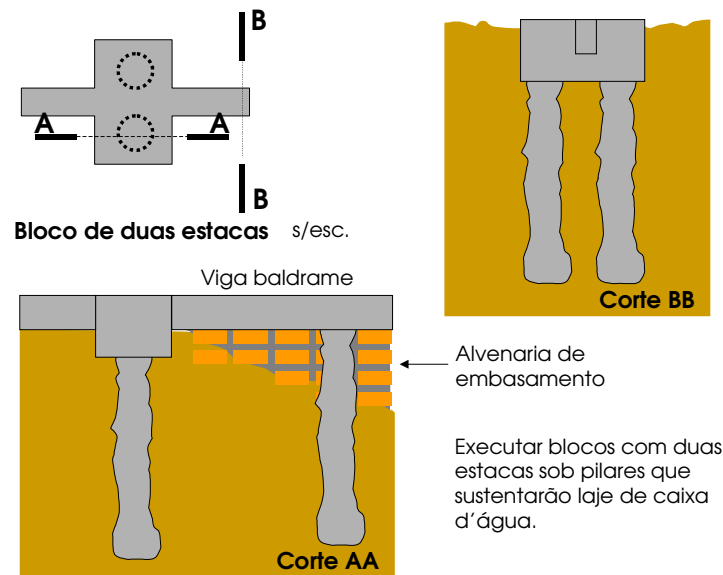


Figura 26. Agrupamentos de estacas brocas.

- **Estacas strauss** – são executadas com tubo de revestimento metálico recuperável, de ponta aberta para permitir a escavação do solo, em concreto simples ou armado.

Diâmetro: 25 a 40 cm.

Carga: 25 cm de diâmetro – até 20 t; 32 cm de diâmetro – 30 t; 38 cm de diâmetro – 40 t; resumindo: varia entre 200 e 800 kN.

Execução (Figura 27):

- a) o soquete ( $\approx 300$  kg) é centralizado com o piquete de locação; em seguida, perfura-se com o soquete a profundidade de 1,0 m, cujo furo servirá para a introdução do primeiro tubo ( $\approx 2$  a 3 metros de comprimento), que é dentado na extremidade inferior (chamado de coroa), cravando-o no solo;
- b) a seguir é substituída pela sonda de percussão, que por meio de golpes, captura e retira o solo;

- c) quando a coroa estiver toda cravada é rosqueado o tubo seguinte e assim sucessivamente até atingir a camada de solo resistente, providenciando sempre a limpeza da lama e da água acumulada dentro do tubo;
- d) substituindo-se a sonda pelo soquete, lança-se no tubo, em quantidade suficiente para se ter uma coluna de 1,0 m, o concreto meio seco;
- e) sem tirar a tubulação, apiloa-se o concreto formando um bulbo e, na seqüência, executa-se o fuste lançando-se o concreto sucessivamente em camadas apiloadas, retirando-se a tubulação na seqüência da operação;
- f) a concretagem é feita até um pouco acima da cota de arrasamento da estaca, deixando-se um excesso para o corte da cabeça da estaca.

Vantagens: é executada no comprimento estritamente necessário; não causa vibrações, pois não necessita de bate-estacas; o equipamento empregado para sua execução é leve e simples, podendo ser utilizado em locais confinados, em terrenos acidentados, ou no interior de edifícios com pé-direito reduzido.

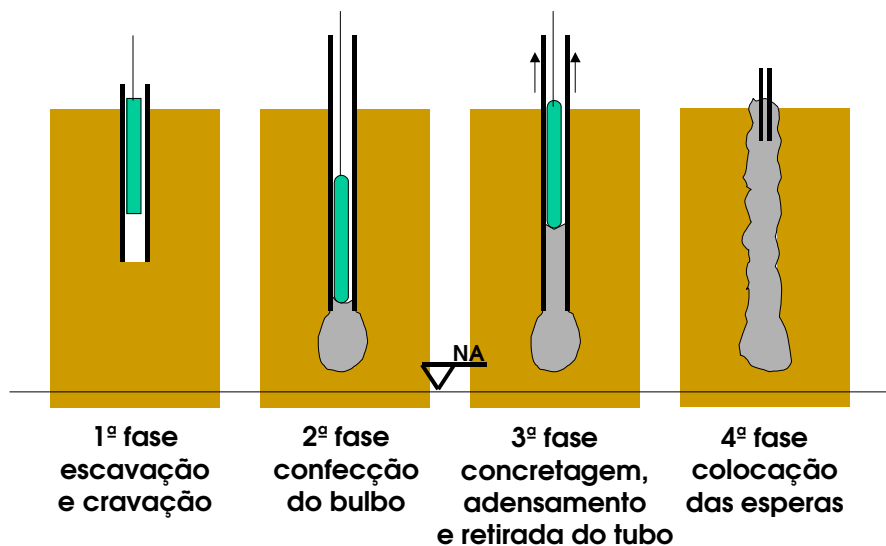


Figura 27. Execução das estacas strauss.

Desvantagens: não há garantia na qualidade da execução (pega do concreto dentro do terreno); pode ocorrer falhas no arrancamento do tubo, podendo conduzir a descontinuidade do fuste.

- **Estacas franki** – são conhecidas como estaca de tração e sua execução é feita por firma especializada. São recomendadas em terrenos cuja camada resistente encontra-se a profundidades variáveis e terrenos com pedregulhos ou pequenos matacões relativamente dispersos.

Diâmetro: 40 a 60 cm.

Carga: 40 cm de diâmetro – 70 t; 52 cm de diâmetro – 130 t; 60 cm de diâmetro – 1700 t.

Execução (Figura 28):

- a) Crava-se o tubo no solo, derramando em seguida uma quantidade de concreto quase seco (areia + pedra + concreto velho), apiloado por um maço pesado, de modo a formar uma bucha que impede a entrada de água e solo no interior do tubo;
- b) Alcançada a profundidade desejada, prende-se o tubo e com percussões energéticas se expulsa o tampão para formar a base alargada da estaca (bulbo);
- c) Coloca-se a armadura, se houver;
- d) Lançam-se novas quantidades de concreto que se apiloam ao mesmo tempo em que o tubo é extraído (20 a 30 cm de cada vez).

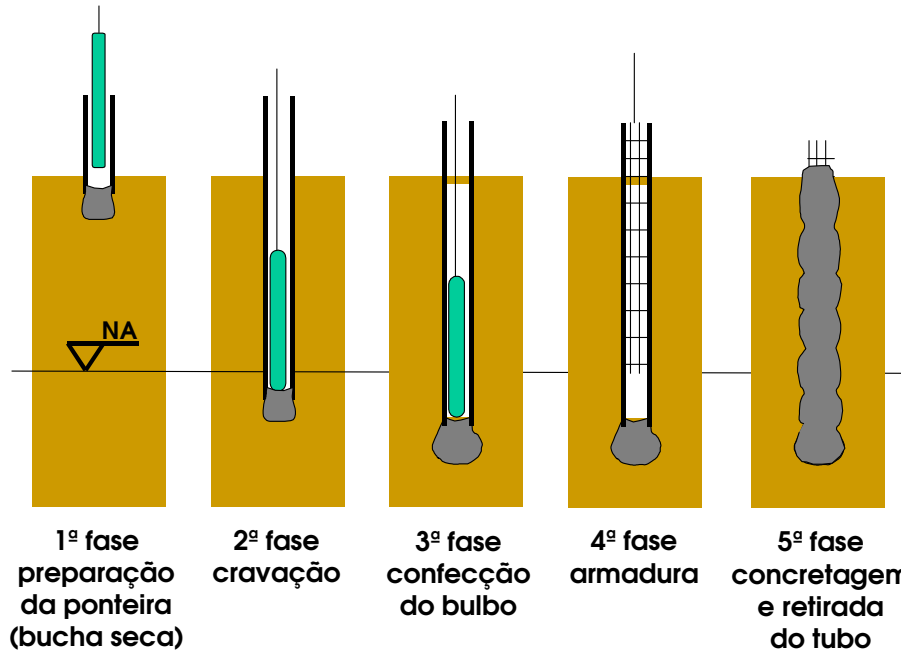


Figura 28. Execução das estacas franki.

Vantagens: é executada no comprimento necessário; possui grande aderência ao solo, garantida pela rugosidade do fuste; distribui melhor a pressão através de sua base alargada; possui grande capacidade de carga.

Desvantagens: vibração do solo durante a execução; não há garantia na qualidade da execução (pega do concreto em contato com o terreno).

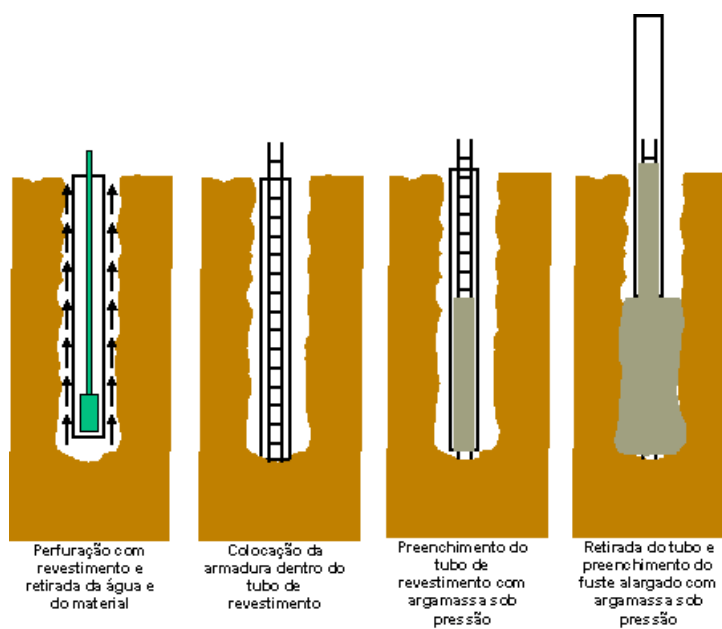
- **Estacas raiz** – são estacas moldadas *in loco*, perfuradas com circulação de água ou método rotativo, ou rotativo-percussivo e executadas com injeção de argamassa ou calda de cimento sob baixa pressão. Se a perfuração é feita somente em solos, reveste-se o furo com um tubo metálico recuperável a fim de garantir a integridade do fuste; se ocorrer em trechos de rocha, usa-se o processo rotativo-percussivo sem a necessidade de revestimento metálico. São indicadas para reforços de fundação, ampliações de obras, locais de difícil acesso, em obras em que as camadas de rocha devem ser ultrapassadas, fundações de obras com vizinhança sensível a vibrações ou poluição sonora, ou para contenção de taludes.

Diâmetro: 130 a 450 mm.

Equipamentos: máquina perfuratriz, que permite executar as estacas em diferentes ângulos ( $0^\circ$  a  $90^\circ$ ). É um equipamento relativamente pequeno e robusto que possibilita operar em locais com espaços restritos (interior de construções e locais subterrâneos). Existem ainda equipamentos autônomos sobre trator de esteiras, acionados por motor diesel (locomoção e funcionamento do sistema hidráulico).

Execução (Figura 29):

- Perfura-se o furo com a utilização de circulação de água e revestimento total. A perfuração é executada até a profundidade desejada (cota de ponta da estaca);
- Coloca-se a armadura, após limpeza final do interior do tubo;
- Concreta-se o fuste, sob baixa pressão;
- Retira-se o tubo de revestimento e fazem-se aplicações parciais de ar comprimido.



**Figura 29. Execução das estacas raiz.**

Vantagens: o equipamento para a perfuração passa por lugares baixos (um portão de apenas 2m de altura); atinge até 50m de profundidade; a estaca pode ser inclinada, o que possibilita alcançar solo resistente mesmo que ele esteja fora dos limites da construção; o processo de perfuração não provoca vibrações, nem qualquer tipo de descompressão do terreno; as cargas de trabalho são elevadas (até  $1500 \text{ KN} = 150\text{tf}$ ); resiste a cargas de tração muito elevadas.

Desvantagens: a água que remove a terra do buraco forma muita lama; não age imediatamente, precisando de um tempo de acomodação para que a casa rebaixe um pouco e a estaca ofereça resistência ao afundamento.

- **Estacas pré-moldadas de concreto armado** – estas estacas podem ser fabricadas por firmas especializadas ou no próprio canteiro da obra, exigindo um rigoroso controle tecnológico. São indicadas para transpor camadas extensas de solo mole e

em terrenos cujo plano da fundação se encontra a uma profundidade homogênea, sem qualquer restrição ao seu uso abaixo do lençol freático.

São classificadas de acordo com a fabricação em mega ou de reação, protendida, centrifugada e vibrada em mesa vibratória. A principal desvantagem dessas estacas está relacionada ao transporte, o que exige um cuidado redobrado no manuseio e verificação de sua integridade momentos antes de sua cravação. Apresenta-se em várias seções (Figura 30): quadradas, circulares, circulares centrifugadas, duplo T, etc.

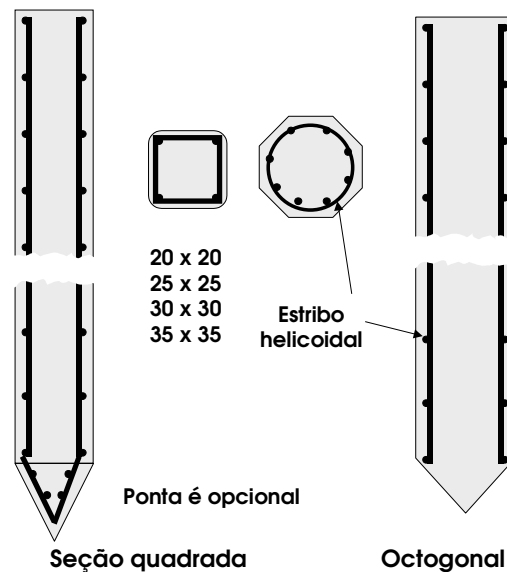


Figura 30. Estacas pré-moldadas de concreto armado.

Estas estacas são cravadas por um processo de cravação dinâmica, com bate-estacas de gravidade. O processo de cravação da estaca prossegue até que esta penetre no terreno, sob um certo número de golpes. Nos 10 últimos golpes do martelo mede-se a “nega”, que é a medida de penetração da estaca (média de comprimentos cravados) para estes golpes. Essa medida tem como objetivo verificar se todas as estacas estão atingindo a mesma camada resistente, além de indiretamente fornecer a capacidade de carga da estaca.

As **estacas mega** são constituídas de elementos justapostos, com comprimento aproximado entre 80 cm a 1,0 metro, que buscam reação sobre a estrutura existente, ou na estrutura que está sendo construída, ou em cargas especialmente construídas para tanto. São indicadas na recuperação de estruturas que sofreram recalques ou danos, ou para reforço de fundação (aumento da carga sobre a fundação existente). São cravadas por meio de macaco hidráulico (Figura 31). A ponta da estaca pode ser em aço ou em concreto pré-moldado (mais freqüente). Para se atingir o comprimento desejado, estas devem ser emendadas por luvas de simples encaixe, luvas soldadas, ou emenda com cola epóxi através de cinta metálica e pinos para encaixe. Por fim, é conveniente executar um bloco de coroamento (Figura 32), que solidariza a estrutura que vem a ser reforçada com a estaca prensada.

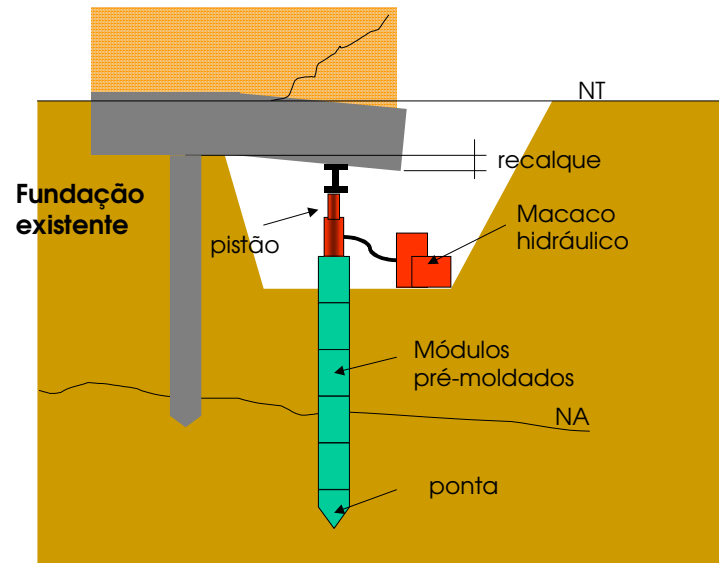


Figura 31. Execução de estacas mega ou prensada.

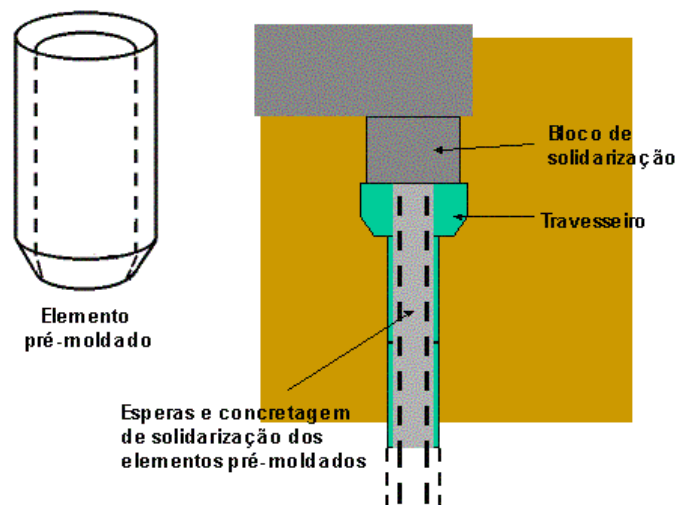


Figura 32. Solidarização da estaca mega.

- **Estacas metálicas** (Figura 33) – são indicadas pela sua grande capacidade de carga, podendo ser utilizada em terrenos cujas fundações têm profundidade variável.

Vantagens: não apresentam problemas quanto ao transporte e manuseio; podem ser facilmente cravadas em quase todos os tipos de terreno; apresentam rapidez na cravação; são obtidas em qualquer comprimento; permitem o aproveitamento de peças cortadas e a combinação de perfis; têm facilidade de cortes e emendas; trabalham bem à flexão; em serviços provisórios, podem ser reaproveitadas várias vezes.

Desvantagens: sofrem violentamente o ataque de águas agressivas; apresentam dificuldade em avaliar a nega; são mais caras do que as estacas pré-moldadas de concreto.

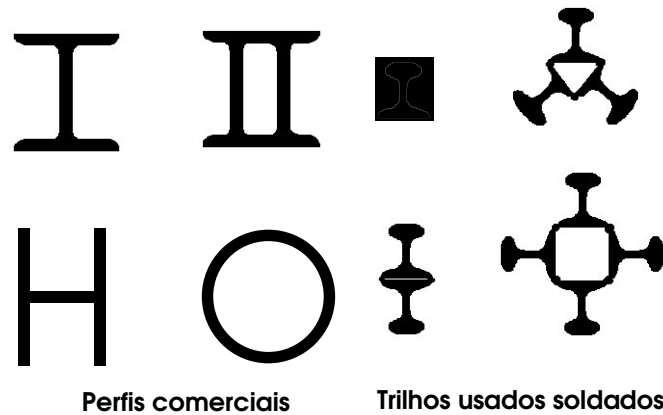


Figura 33. Estacas metálicas.

- **Estacas de contenção** – são estruturas executadas para prevenir desmoronamentos provocados, principalmente, pela ação da água, por sobrecarga e/ou vibração de equipamentos próximos a trabalhos de abertura de valas, poços, escavação, etc. Estas estruturas podem ser provisórias ou definitivas. São consideradas provisórias quando estas são retiradas após cumprirem o objetivo estabelecido; e são consideradas definitivas quando incorporadas à obra, fazendo parte da estrutura de sustentação ou como elemento de contenção definitivo.

Vale lembrar que nunca se deve iniciar uma obra sem ter absoluta certeza sobre as conseqüências das escavações, principalmente, se houver edifícios vizinhos e logradouros públicos próximos ao local de escavação.

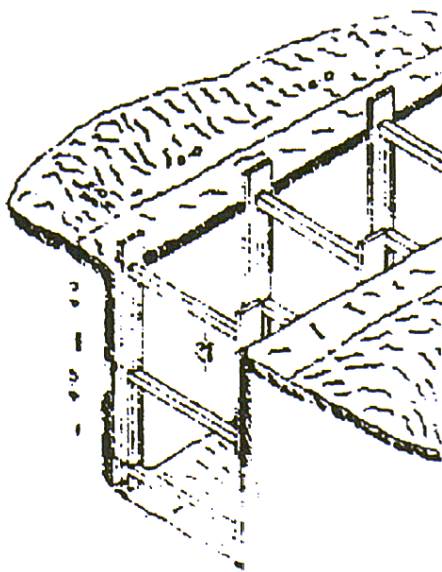


Figura 34. Contenção de madeira - 1,8 a 3,0 m, no caso de solos duros e firmes.

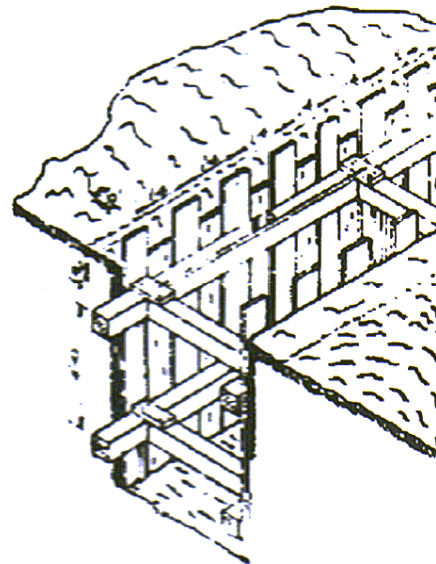


Figura 35. Contenção de madeira - 1,2 a 2,0 m, no caso de solos mais fofos e arenosos.

A escolha do tipo de contenção mais adequado a ser usado depende de vários fatores, que são: altura do talude (escavação), consistência do terreno, ocorrência de chuvas, proximidade das edificações em volta da obra, espaço disponível para operar equipamentos, prazos, custos, etc.

- **Contenções provisórias** – são aquelas que são removidas quando não mais necessárias. Podem ser de madeira, metálica ou mista.

O **escoramento em madeira** (Figura 34 e Figura 35) é feito à medida que avança a escavação, que é feita manualmente e têm profundidade entre 1,5 e 2,5 m. Na contenção, são utilizadas escoras ou estroncas (vigas, caibros, postes e pranchões - Figura 36 e Figura 37), painel ou peças (tábuas e pranchas), travessões e guias (vigas e caibros). As pranchas são dotadas de encaixe macho e fêmeo (Figura 38) e comportam-se melhor em areia e terrenos argilosos muito moles, pois vedam a passagem de água e de partículas finas de solo.

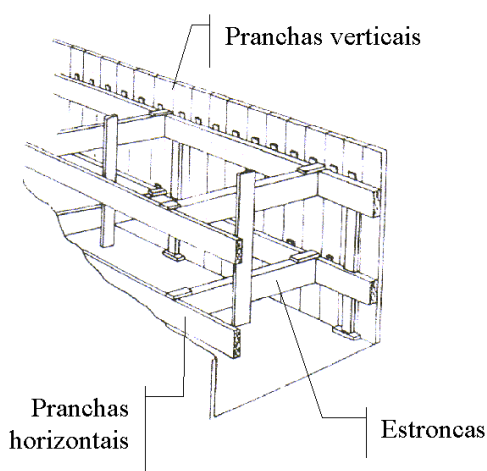


Figura 36. Contenção de madeira em pranchões.

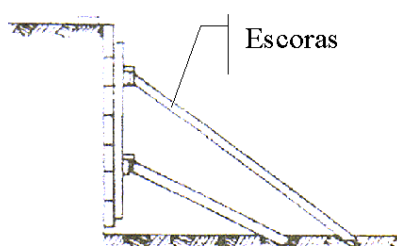


Figura 37. Contenção escorada.

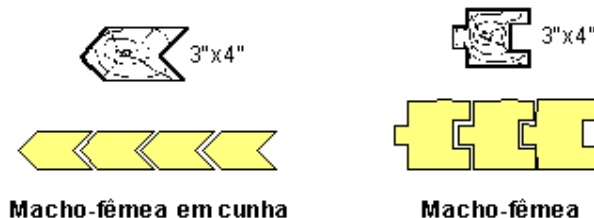


Figura 38. Tipos de encaixe macho-fêmea.

O **escoramento metálico** pode ser feito por perfis H, I cravados e estacas pranchas. As estacas pranchas, que também podem ser de concreto, são cravadas com bate-estacas e formadas por perfis metálicos justapostos. Os perfis utilizados neste caso são dotados de encaixe nas extremidades, de modo que a parede de contenção obtida seja contínua, porém flexível. São cravados com bate-estacas e encaixados uns aos outros. A escavação só é iniciada após a cravação, sem que qualquer outro serviço seja executado, a não ser a colocação de escoras, estroncas e vigamento horizontal. Depois de executado o reaterro, os perfis são retirados do solo, podendo ser reutilizados. Este tipo de contenção apresenta as seguintes vantagens: os perfis podem ser reaproveitados e combinados; a contenção é versátil (diferentes

geometrias e espessuras - Figura 39 e Figura 40); sua execução é rápida e fácil; pode ser utilizada em terrenos fofos e em terrenos saturados com água.

Na **contenção mista** (Figura 41), perfis laminados I ou H são cravados nos limites da escavação, espaçados de 1,5 m. Entre dois perfis são colocadas pranchas de madeira, encunhadas contra eles, os quais são colocados à medida que se aprofunda a escavação. Neste tipo de contenção, o peso do terreno age horizontalmente sobre os pranchões, que transferem a carga para os perfis metálicos, os quais funcionam como vigas em balanço engastadas no solo (Figura 42). A reação do solo (parte enterrada) equilibra o peso do terreno, fazendo com que as tensões de contato sejam muito elevadas e o perfil tenda a rasgar o solo, comprometendo o equilíbrio estático do sistema. Este fato, associado às grandes deformações no topo do perfil, faz com que as escavações de médias e grandes profundidades devam ser escoradas em um ou mais pontos (Figura 43). Estas escoras podem ser por duas escoras estroncas; por uma escora inclinada; por atirantamento. Depois de executados o serviço dentro da escavação, esta é reaterrada em camadas, retirando-se as cunhas inferiores e as escoras à medida que o solo é recolocado. O processo é repetido até o nível do terreno. Os perfis são sacados através de guindastes, depois de terminado o reaterro.

ESTACAS	Espessura (mm)	Peso (kg/m) por m. galv.		Momento de Inércia (cm <sup>4</sup> )	Módulo de Resistência (cm <sup>3</sup> )	Razão de Giro (cm)	Eficiência
	4,50	21	22	63	21	1,56	1,02
	6,30	29	30	63	27	1,51	0,93
	4,50	15	16	49	17	1,59	1,13
	6,30	21	22	65	22	1,56	1,03
	3,35	17	18	301	53	3,76	3,1
	4,50	23	24	384	67	3,66	2,9
	3,35	19	20	1175	121	6,95	6,4
	4,50	26	27	1539	156	6,82	6,0
	3,35	20	21	1355	126	7,37	6,3
	4,50	27	28	1812	170	7,32	6,3
	6,30	38	39	2508	239	7,26	6,3

EFICIÊNCIA = MÓDULO DE RESISTÊNCIA - PESO

Figura 39. Perfis de estacas pranchas.

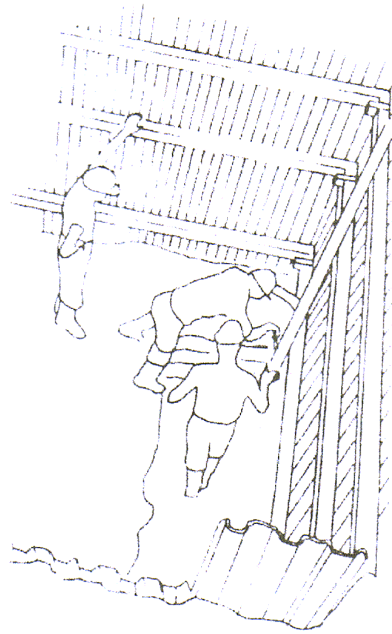
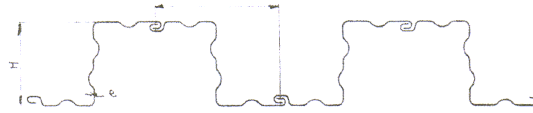


Figura 40. Encaixe dos perfis.

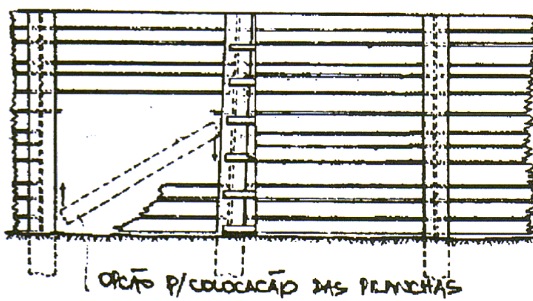
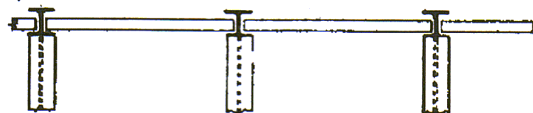


Figura 41. Contenção mista.

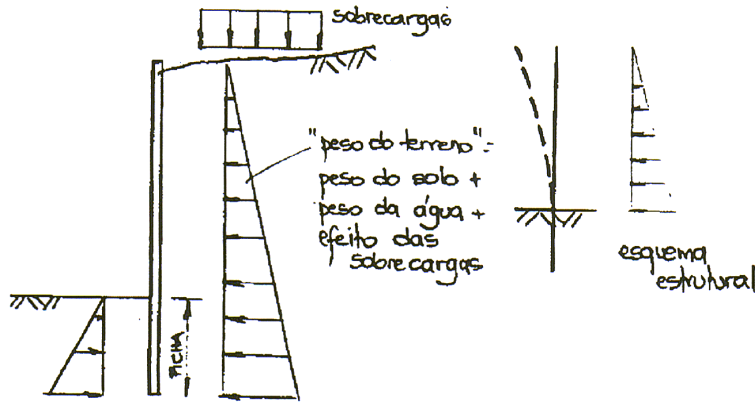


Figura 42. Estacas metálicas.

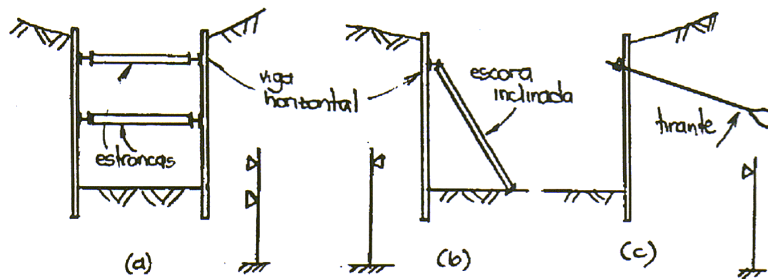


Figura 43. Escoramento de contenção mista. (a) estroncas; (b) escoras; (c) tirantes.

- **Contenções definitivas** – são aquelas que passam a fazer parte da estrutura de sustentação. Podem ser de concreto ou metálica.

Dentre as contenções de concreto destacam-se as estacas moldadas *in loco* e as paredes diafragmas. As primeiras são consideradas uma solução bastante simples e econômica. São executadas justapostas, tangenciando-se entre si ou de modo alternado. Na primeira execução ocorrem frestas da ordem de 50 a 100 mm, trazendo problemas em solos menos consistentes ou com a presença de água. Na segunda, o problema das frestas é minimizado, pois a distancia livre entre duas estacas é menor do que o diâmetro da estaca.

As paredes diafragmas são uma evolução da técnica utilizada nas estacas anteriores. Podem ser executadas em argamassa (diafragmas flexíveis), ou concreto simples ou armado (diafragmas rígidos). São obtidas pela escavação e execução sucessivas de estacas de concreto armado, cujas dimensões variam de 1,0 a 6,0 m de comprimento e 40 a 60 cm de largura. Embora de simples execução, o processo utiliza pessoal, equipamentos e materiais especializados.

Execução (Figura 44):

1. escavar o buraco, que pode ser feito com escavadeiras dotadas de *clam-shell* ou trado;

2. depois de escavado o buraco, este é preenchido com uma solução especial chamada *lama betonítica* (solução de 3 a 10% de argila montimorilonítica especial refinada com água), antes de verter o concreto. Sua função é equilibrar a pressão exercida pelo solo e pela água nele presente, a fim de evitar que o buraco desmorone;
3. coloca-se em sua extremidade um tubo de aço, que permite a criação de um engate entre o painel em execução e o seguinte, na hora da concretagem;
4. se o concreto for armado, coloca-se a armadura;
5. através de um funil (tremonha), verte-se um concreto, bastante plástico, que preenche o buraco de baixo para cima, expulsando a lama que é recolhida para posterior reaproveitamento;
6. após o concreto adquirir uma certa resistência, o tubo de aço é sacado e se reinicia o processo.

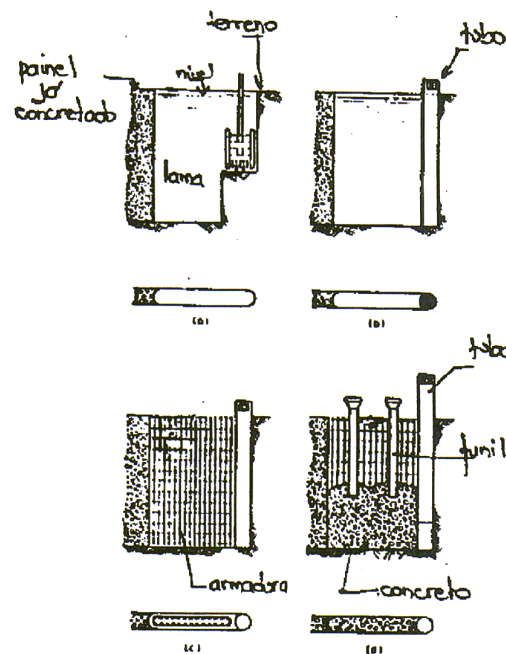


Figura 44. Execução da parede diafragma.

Vantagens: velocidade de execução; facilidade de trabalho em solos de consistência desfavorável e na presença de água; não causa barulhos ou vibrações.

Podem ser aplicadas em paredes de subsolos, passagens subterrâneas, estações de metrô, barragens, contenções contra deslizamentos e fundações pesadas.

- **Bate-Estacas** - a escolha do tipo de equipamento, para cravar a estaca, depende do tipo de estaca que vai ser utilizada e do estudo prévio das condições do terreno, da área de manobras, das construções próximas dos acessos, etc. Os bate-estacas podem ser por gravidade, de simples efeito, de duplo efeito, de vibração.

- **Bate-estacas por gravidade** (Figura 45) – são os equipamentos mais utilizados e de funcionamento mais simples. É constituído de uma massa metálica (pilão ou martelo), que içada por meio de guinchos, cabos e uma torre ou tripé é deixada cair livremente de uma altura determinada, cravando a estaca com golpes sucessivos.

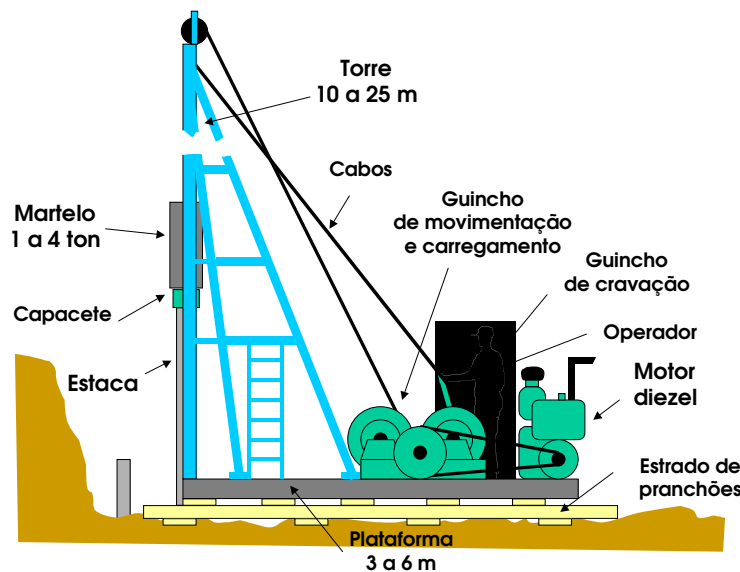


Figura 45. Bate-estacas de gravidade.

- **Bate-estacas de simples efeito ou de duplo efeito** – são equipamentos que funcionam sob a ação de gases sob pressão (vapor ou ar comprimido). Os de simples efeito recebem pressão no martelo apenas para levá-lo, a cravação se dá por gravidade. Os de duplo efeito, ambos, levantamento e queda, são feitos sob a pressão dos gases.
- **Bate-estacas de vibração** – estes equipamentos dispensam o uso de torres, tripés e guias, necessitando apenas de um guindaste para fazer o acoplamento nas estacas. A cravação se dá por oscilação de massas excêntricas acionadas por eletricidade, motor diesel ou ar comprimido.
- **Capacidade de carga das estacas** – a resistência das estacas cravadas pode ser determinada pela aplicação de fórmulas empíricas, que relacionam a resistência da estaca com a penetração média ocorrida na última série de batidas do bate-estaca. Abaixo é apresentada a fórmula de Brix para o cálculo destas resistências:

$$R = \frac{h \cdot P^2 \cdot p}{3(P + p)^2 \cdot n} \quad (1)$$

Onde R é a resistência da estaca (capacidade de carga em kg); h é a altura de queda do martelo em cm; P é o peso do martelo em kg; p é o peso da estaca em kg; n é a nega da estaca em cm. O número 3 na equação (1) representa um coeficiente de segurança.

Para estacas moldadas *in loco*, o ideal é realizar provas de carga em conformidade com a norma técnica. Em obras de maior vulto, estas provas de carga podem indicar a redução dos coeficientes de segurança adotados em projeto e, com isso, auferir menos custos de execução, garantido qualidade máxima.

## • Atirantamento

Escoras em geral são usadas nas contenções com o intuito de auxiliar no equilíbrio estático das mesmas. Podem ser utilizadas tanto em contenções definitivas quanto provisórias. No primeiro caso, as escoras são retiradas; no segundo, as escoras provisórias devem ser substituídas por apoios definitivos. Nesse caso, existem dois caminhos: executa-se uma contenção mais pesada que resista sozinha as cargas nela aplicadas, sem romper e sem deformações excessivas, ou executa-se um escoramento que apóie a contenção no próprio terreno não escavado.

Na primeira opção, executam-se os muros de arrimo, que são de simples execução, não exigindo equipamentos sofisticados. Na verdade, um muro de arrimo não é exatamente uma contenção, pois ele é executado junto ao talude, havendo continuidade entre o solo e o muro. Ele pode trabalhar por gravidade (Figura 46) ou por flexão (Figura 47). Os primeiros resistem ao empuxo do terreno por um efeito do seu peso próprio, que faz surgir uma força de atrito na sua interface com o solo, evitando assim o deslizamento do solo e o tombamento do muro. Podem ser feitos em concreto simples, blocos de pedra, ou gabiões. Já os muros por flexão são mais leves, sendo executados em concreto armado. Sua geometria característica (T invertido) faz com que o peso do terreno auxilie na obtenção da força de atrito.

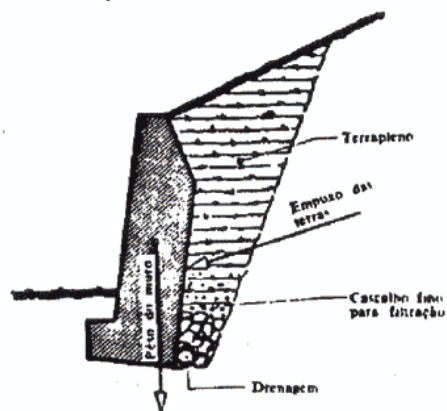


Figura 46. Muros de arrimo por gravidade.

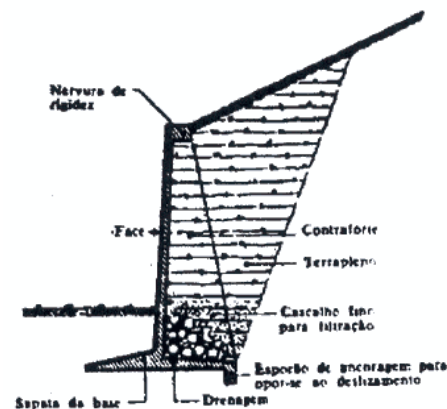


Figura 47. Muros de arrimo por flexão.

Na segunda opção são utilizados os tirantes (Figura 48), que são um ou mais cabos de aço protendidos e encunhados contra a contenção. O funcionamento do tirante é muito simples. Como exemplo toma-se a execução de uma parede diafragma, que após concretada, inicia-se a escavação do solo até um determinado nível (Figura 49a). Executa-se então o conjunto de tirantes, que fornece à parede um novo apoio (Figura 49b), permitindo que a retirada do solo continue até a cota desejada (Figura 49c). O resultado final é uma parede de menor espessura e com menor consumo de aço, já que está sujeita a menores esforços. Nas Figura 50 e na Figura 51 são mostrados tipos de contenções atirantadas provisórias e definitivas, respectivamente.

### Execução:

1. preparação do tirante em bancada;
2. perfuração do furo dentro do solo com brocas e equipamento pneumático (comprimento do furo é calculado);

3. no término do furo é executada uma escavação mais larga, chamada bulbo;
4. coloca-se o tirante no furo com separadores e espaçadores para isolar os trechos livres e ancorados;
5. injeta-se, sob pressão, concreto na extremidade do furo para formar o bulbo de ancoragem e cura;
6. aplica-se a protensão no cabo com macacos hidráulicos;
7. injeta-se argamassa de proteção do tirante;
8. ancora-se o tirante com uma blindagem de proteção da cabeça.

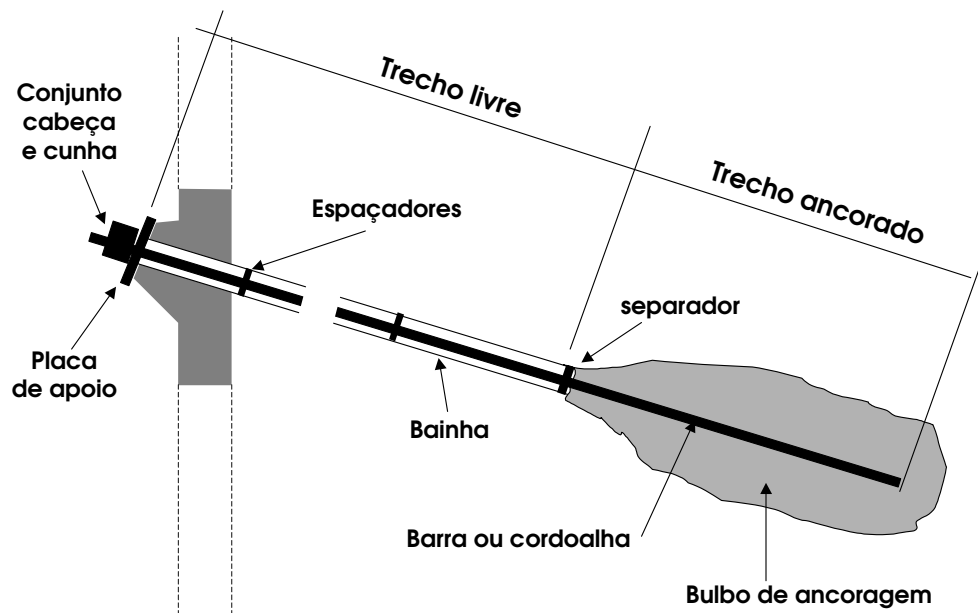


Figura 48. Elementos de um tirante.

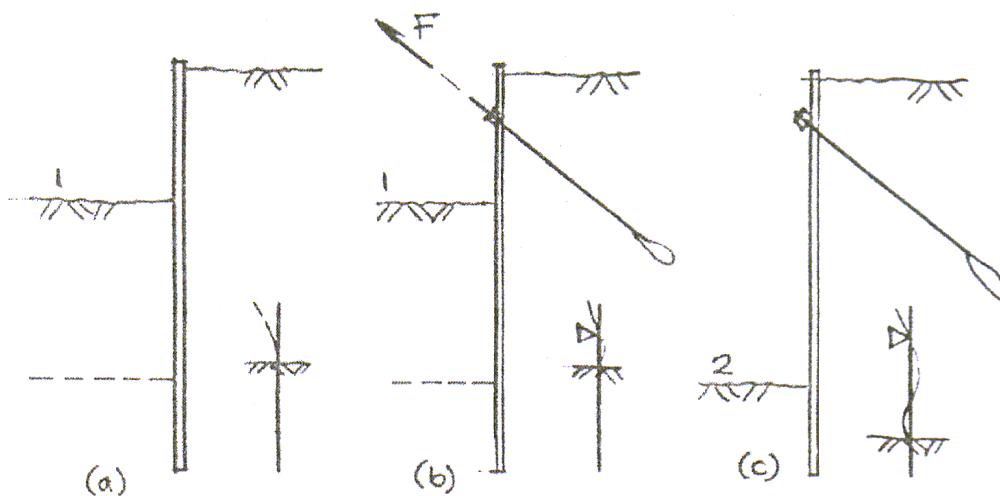


Figura 49. Etapas da escavação com tirantes.

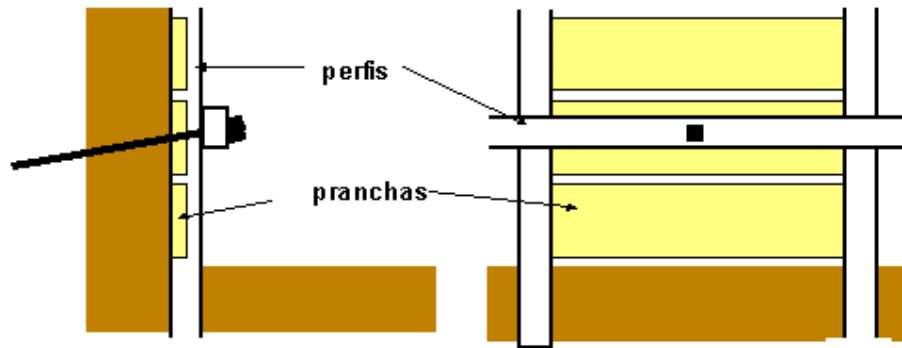


Figura 50. Cortinas de estacas com tirante provisório.

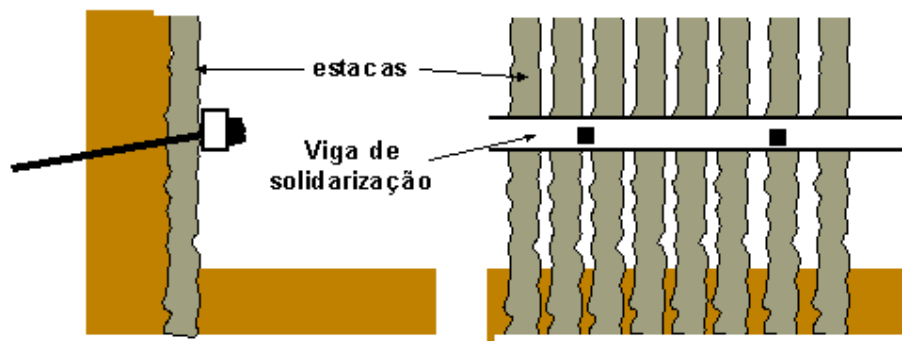


Figura 51. Cortinas de estacas com tirante definitivo.

- **Proteção de taludes**

Taludes escavados também podem ser protegidos executando-se patamares horizontais intercalados nos taludes inclinados, chamados bermas (Figura 52). A principal preocupação nestes casos é com as águas superficiais ou que afloram do terreno. Pode-se evitar estes problemas executando-se drenagens que retirem a água, a qual é depositada em lugar adequado, ou revestindo o talude com materiais impermeabilizantes, como o plantio de gramas, ou o uso de asfaltos ou argamassa de concreto jateado.

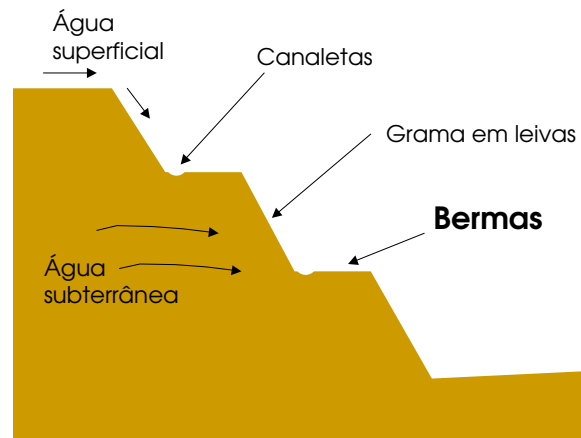


Figura 52. Proteção de taludes em bermas.

## 5. ESCOLHA DA FUNDAÇÃO

A seguir, são apresentadas duas tabelas com informações que podem auxiliar na escolha mais adequada de fundação para as obras de engenharia, não esquecendo que se deve sempre levar em conta o levantamento geológico do terreno.

**Tabela 2. Resumo dos tipos de fundações em função do subsolo**

Condição do subsolo	Opções para estrutura de fundação	
	Estruturas leves, flexíveis	Estruturas pesadas, rígidas
Camada resistente a pouca profundidade	Blocos Sapatas	Blocos Sapatas Radier raso
Camada compressível com grande espessura	Sapata após compactação Radier raso Estacas flutuantes	Radier profundo Estacas de ponta Estacas flutuantes
Camadas fracas sobre camada resistente	Estacas de ponta Bloco após compactação Sapata após compactação Radier raso	Estacas de ponta Tubulões Radier profundo
Camada resistente sobre camada fraca	Blocos Sapatas Radier raso	Radier profundo Estacas de ponta Tubulões
Camadas fracas e resistentes alternadas	Blocos Sapatas Radier raso	Radier profundo Estacas de ponta Tubulões

**Tabela 3. Resumo das estacas em função da capacidade máxima de carga**

Tipo de estaca		Dimensões (cm)	Carga útil (ton)	Distância entre eixos (cm)	Distância das divisas (cm)
Madeira	Eucalipto	30	33	80	45
	Ipê	35	38	90	50
Perfis metálicos	I	25x11,5(10"x45/8")	40	70	30
	II	25x11,5(10"x45/8")	80	80	35
	I	30x13,5(12"x51/4")	60	70	30
	II	30x13,5(12"x51/4")	120	80	35
Moldadas <i>in loco</i>	Diâmetro interno do tubo (cm)	Diâmetro aproximado da estaca (cm)	Carga útil (ton)	Distância entre eixos (cm)	Distância das divisas (cm)
Franki (bucha seca)	42	47	75	130	75
	47	53	100	140	80
	52	58	130	150	85
	60	67	170	180	85
Strauss (tubo recuperável)	22	25	20	80	40
	26	32	30	90	45
	30	38	40	100	50
Pré-moldadas	Seção	Dimensões (cm)	Carga útil (ton)	Distância entre eixos (cm)	Distância das divisas (cm)
Concreto armado	quadrada	20x20	20	60	30
		25x25	30	70	30
		30x30	40	80	35
		35x35	50	90	40
Protendido	octogonal	25	30	70	40
		35	60	90	55
		40	80	110	65
		45	100	130	70

## 6. BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

AZEREDO, Hélio Alves de. O edifício até sua cobertura. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

CARDÃO, Celso. Técnica da Construção. Belo Horizonte: Edições Engenharia e Arquitetura, 1979, Vol. I.

BORGES, Alberto de Campos. Prática das Pequenas Construções. São Paulo: Edgard Blücher, 1996.

BARROS, Mercia M. S. B. de, MELHADO, Sílvio B. Tecnologia da Construção Civil. Notas de aula – Movimento de Terra. São Paulo, 2002.

MELHADO, Sílvio B., BARROS, Mercia M. S. B. de, *et al.* Tecnologia da Construção Civil. Notas de aula – Fundações. São Paulo, 2002.

CARDOSO, Francisco F. Tecnologia da Construção Civil. Notas de aula – Serviços de Escavação: Equipamentos e aspectos executivos. São Paulo, 2002.

CARDOSO, Francisco F. Tecnologia da Construção Civil. Notas de aula – Sistemas de Contenção. São Paulo, 2002.

ZULIAN, Carlan S., DONÁ, Elton C., VARGAS, Carlos L. Construção Civil. Notas de aula – Fundações. UEPG - <http://www.uepg.br/denge/civil/>, 2002.