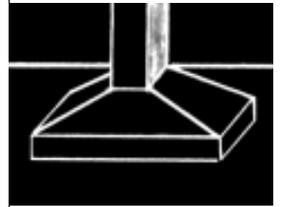


Fundação



Conceitos

Definição

Parâmetros para a escolha da fundação

Topografia da área

Características do maciço do solo

Dados da estrutura

Dados sobre as construções vizinhas

Aspectos econômicos

Fundação superficial

Bloco

Sapata

Viga de fundação

Grelha

Radier

Fundação profunda

Estaca

Tubulão

Características das fundações

Bloco

Sapata

Radier

Estacas pré-fabricadas

Metálica

Concreto

Estacas escavadas

Strauss

Barretes

Franki

Raiz

Hélice Contínua

Tubulão

A céu aberto

A ar comprimido

Análise de custos das fundações profundas

Conclusão

Conceitos

Parâmetros para a escolha

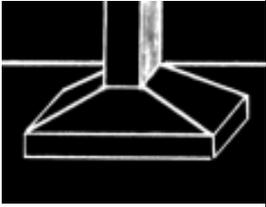
Fundação superficial

Fundação profunda

Características das fundações

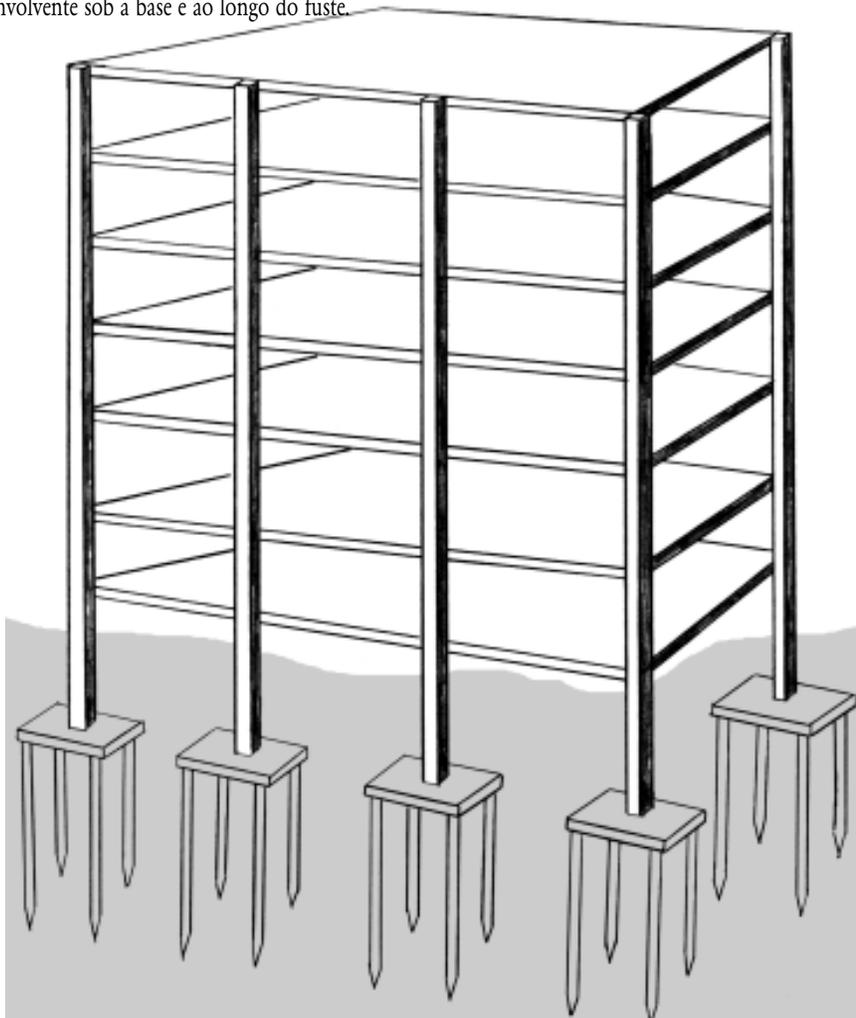
Análise de Custos

Conclusão



Definição

O sistema de fundações é formado pelo elemento estrutural do edifício que fica abaixo do solo (podendo ser constituído por bloco, estaca ou tubulão, por exemplo) e o maciço de solo envolvente sob a base e ao longo do fuste.



Sua função é suportar com segurança as cargas provenientes do edifício.

Convencionalmente, o projetista estrutural repassa ao projetista de fundação as cargas que serão transmitidas aos elementos de fundação. Confrontando essas informações com as características do solo onde será edificado, o projetista de fundações calcula o deslocamento desses elementos e compara com os recalques admissíveis da estrutura, ou seja, primeiro elabora-se o projeto estrutural e depois o projeto de fundação.

Quando o projeto estrutural é elaborado em separado do projeto de fundação, considera-se, durante o dimensionamento das estruturas, que a fundação terá um comportamento rígido, indeslocável. Na realidade, tais apoios são deslocáveis e esse fator tem uma grande contribuição para uma redistribuição de esforços nos elementos da estrutura.

Essa redistribuição ou nova configuração de esforços nos elementos estruturais, em especial nos pilares, provoca uma transferência das cargas dos pilares mais carregados para os pilares menos carregados.

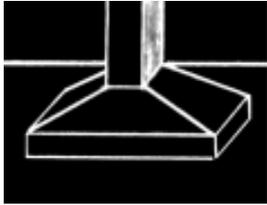
Geralmente, os pilares centrais são os mais carregados que os da periferia. Ao considerarmos a interação solo-estrutura no dimensionamento da fundação, os pilares que estão mais próximos do centro terão uma carga menor do que a calculada, havendo uma redistribuição das tensões.

Dessa forma, é possível estimar os efeitos da redistribuição dos esforços na estrutura do edifício, bem como a intensidade e a forma dos recalques diferenciais. Conseqüentemente, teremos um projeto otimizado, podendo-se obter uma economia que pode chegar a até 50% no custo de uma fundação.

Torna-se clara a importância da união entre o projeto estrutural e o projeto de fundações em um único grande projeto, uma vez que os dois estão totalmente interligados e mudanças em um provocam reações imediatas no outro.



Conceitos



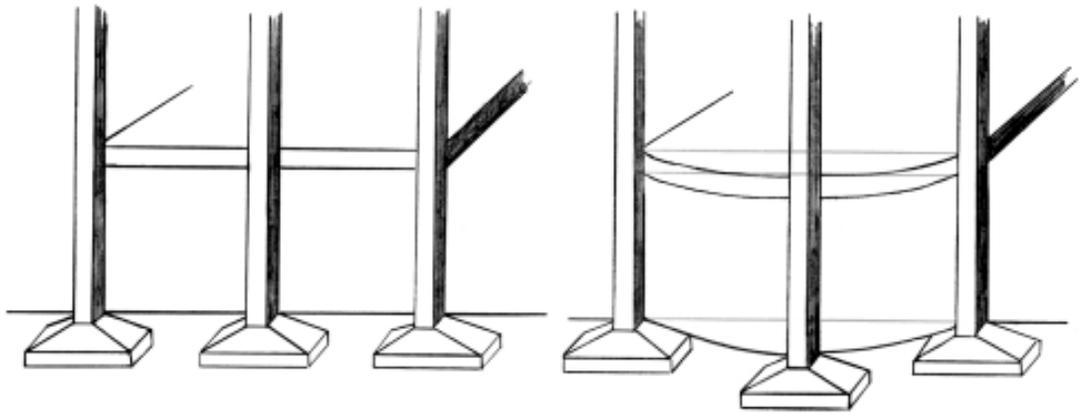
Parâmetros

Dica

O cálculo deve ser feito criteriosamente pois, do contrário, o mecanismo de redistribuição de cargas pode causar danos à estrutura. Por exemplo, para o caso do maciço ser horizontalmente homogêneo, com a estrutura da fundação apoiada na mesma cota e dimensionada para o mesmo coeficiente de segurança, poderá ocorrer o esmagamento dos pilares periféricos. Em outros casos, a redistribuição de esforços poderá resultar na transferência de carga dos apoios da extremidade para os apoios do centro e, novamente, causar o esmagamento destes apoios.

Nota

Exemplos de limitações de emprego de algum tipo de fundação: Estacas moldadas in loco em solo mole podem ter o fuste estrangulado, já estacas pré-moldadas de concreto podem quebrar quando cravadas em solo muito resistente ou em solos com matacões.



Parâmetros para a escolha da fundação

São diversas as variáveis a serem consideradas para a escolha do tipo de fundação. Numa primeira etapa, é preciso analisar os critérios técnicos que condicionam a escolha por um tipo ou outro de fundação. Os principais itens a serem considerados são:

Topografia da área

- dados sobre taludes e encostas no terreno, ou que possam atingir o terreno;
- necessidade de efetuar cortes e aterros
- dados sobre erosões, ocorrência de solos moles na superfície;
- presença de obstáculos, como aterros com lixo ou matacões.

Características do maciço de solo

- variabilidade das camadas e a profundidade de cada uma delas;
- existência de camadas resistentes ou adensáveis;
- compressibilidade e resistência do solos;
- a posição do nível d'água.

Dados da estrutura

- a arquitetura, o tipo e o uso da estrutura, como por exemplo, se consiste em um edifício, torre ou ponte, se há subsolo e ainda as cargas atuantes.

Realizado esse estudo, descartamos as fundações que oferecem limitações de emprego para a obra em que se está realizando a análise. Teremos, ainda assim, uma gama de soluções que poderão ser adotadas.

Alguns projetistas de fundação elaboram projetos com diversas soluções, para que o construtor escolha o tipo mais adequado de acordo com o custo, disponibilidade financeira e o prazo desejado.

Dessa forma, numa segunda etapa, consideram-se os seguintes fatores:

Dados sobre as construções vizinhas

- o tipo de estrutura e das fundações vizinhas;
- existência de subsolo;
- possíveis conseqüências de escavações e vibrações provocadas pela nova obra;
- danos já existentes.

Aspectos econômicos

• além do custo direto para a execução do serviço, deve-se considerar o prazo de execução. Há situações em que uma solução mais custosa oferece um prazo de execução menor, tornando-se mais atrativa.

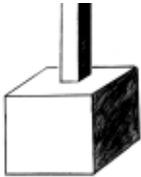
Podemos perceber que, para realizar a escolha adequada do tipo de fundação, é importante que a pessoa responsável pela contratação tenha o conhecimento dos tipos de fundação disponíveis no mercado e de suas características.

Somente com esse conhecimento é que será possível escolher a solução que atenda às características técnicas e ao mesmo tempo se adeque à realidade da obra.

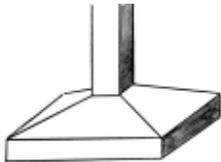
Fundação superficial

Também chamada de fundação rasa ou direta, transmite a carga do edifício ao terreno através das pressões distribuídas sob a base da fundação. As fundações superficiais estão assentadas a uma profundidade de até duas vezes a sua menor dimensão em planta.

Os principais tipos de fundação superficial são:

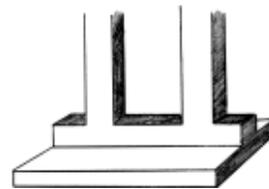


Bloco é o elemento de fundação de concreto simples, dimensionado de maneira que as tensões de tração nele produzidas possam ser resistidas pelo concreto, sem necessidade de armadura.



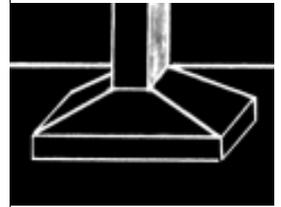
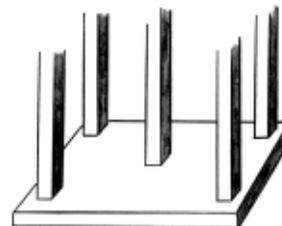
Sapata é um elemento de fundação de concreto armado, de altura menor que o bloco, utilizando armadura para resistir a esforços de tração.

Viga de fundação é um elemento que recebe pilares alinhados, geralmente de concreto armado; pode ter seção transversal tipo bloco, sem armadura transversal, sendo chamada de *baldrame*.



Grelha elemento de fundação constituído por um conjunto de vigas que se cruzam nos pilares.

Radier elemento de fundação que recebe todos os pilares da obra.

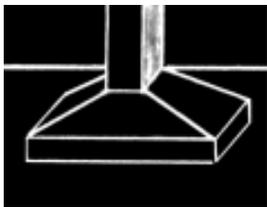


Superficial

Dicas

O levantamento de danos existentes pode ser realizado por meio de uma vistoria judicial prévia.

Em regiões densamente ocupadas, é importante verificar também o nível de ruído admissível no local.



Profunda

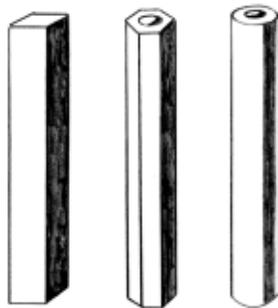
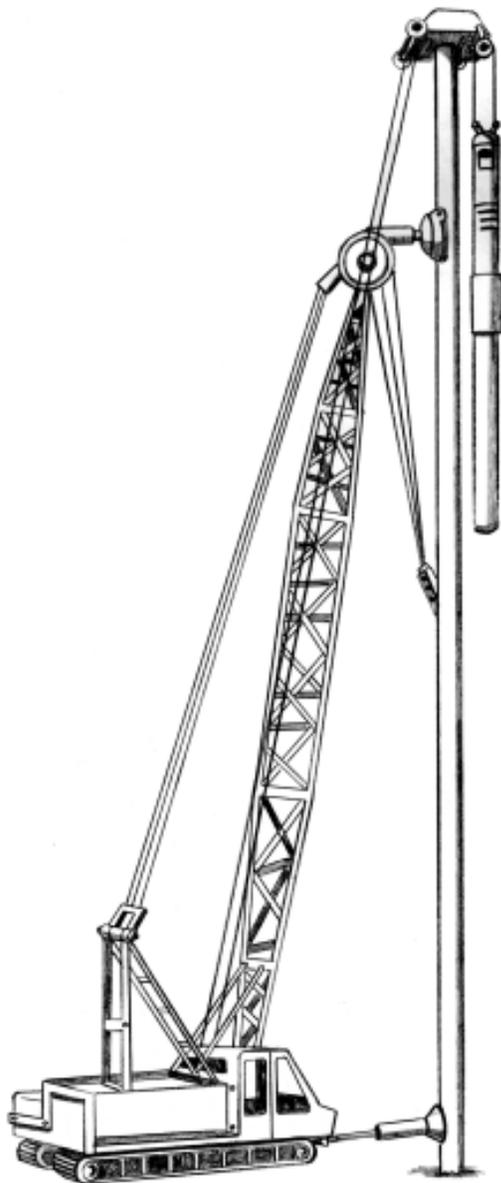
Dica

A cravação das estacas com martelo automático é mais eficiente do que a cravação manual, pois a força aplicada é constante, permitindo avaliar as características do solo através de monitoramento eletrônico.

Fundação profunda

São aquelas em que a carga é transmitida ao terreno através de sua base (resistência de ponta) e/ou superfície lateral (resistência de atrito). As fundações profundas estão assentadas a uma profundidade maior que duas vezes a sua menor dimensão em planta.

Os principais tipos de fundação profunda são:



Estaca

elemento de fundação executado com auxílio de ferramentas ou equipamentos, execução esta que pode ser por cravação a percussão, prensagem, vibração ou por escavação.

Os principais tipos de estaca são:

Estacas pré-moldadas

Caracterizam-se por serem cravadas no terreno, podendo-se utilizar os seguintes métodos:

- percussão - é o método de cravação mais empregado, o qual utiliza-se pilões de queda livre ou automáticos. Um dos principais inconvenientes desse sistema é o barulho produzido.

- prensagem - empregada onde há a necessidade de evitar barulhos e vibrações, utiliza macacos hidráulicos que reagem contra uma plataforma com sobrecarga ou contra a própria estrutura.

- vibração - sistema que emprega um martelo dotado de garras (para fixar a estaca), com massas excêntricas que giram com alta rotação, produzindo uma vibração de alta frequência à estaca. Pode ser empregada tanto para cravação como para remoção de estacas, tendo o inconveniente de transmitir vibrações para os arredores.

Podem ser fabricadas com diversos materiais, sendo as estacas de concreto e metálicas as mais usuais.

Concreto

As estacas de concreto são comercializadas com diferentes formatos geométricos. A capacidade de carga é bastante abrangente, podendo ser simplesmente armadas, protendidas, produzidas por vibração ou centrifugação.

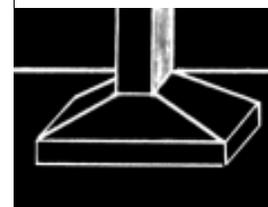
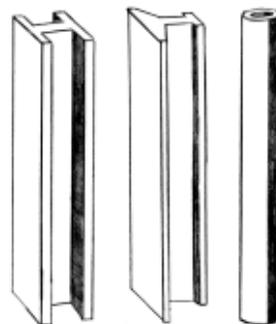
Metálicas

São encontradas na forma de trilhos ou perfis.

Não há possibilidade de quebra e, caso seja necessário realizar emendas, essas devem ser soldadas, não devendo permitir o uso de luvas ou anéis.

Um problema que ocorre com relativa frequência em estacas cravadas por percussão através de espessas camadas de argila mole é o drapejamento, isto é, encurvamento das estacas, mesmo quando se tomam cuidados com o prumo durante a cravação. Tal fato, no entanto, é raramente detectado.

O tratamento teórico deste fenômeno só vem sendo realizado muito recentemente, não havendo, ainda, meios de quantificá-lo na fase de projeto. Por esse motivo a eficiência das estacas e principalmente das emendas só pode ser comprovada após experiência acumulada em várias cravações e provas de cargas nestas formações de argilas moles.



Profunda

Dicas

No dimensionamento das estacas metálicas na forma de trilhos é interessante dimensionar de modo a evitar soldas. Por exemplo, ao invés de utilizar duas estacas de 80 t, utilizar quatro de 40 t.

Nas estacas cravadas em terrenos que provoquem levantamento é deve ser feito o engastamento da armação na base.

O estrangulamento do fuste pode ser evitado reforçando-se o solo mole com a cravação prévia do tubo seguido por sua retirada, preenchendo-se o furo com brita e areia. Quando o dano do fuste for provocado pelo encurtamento da armação, deve-se aumentar o diâmetro das barras ou o número de barras da armação.

Estacas moldadas in loco com tubo de revestimento

Estacas Tipo Franki

Estaca de concreto armado moldada *in loco* que emprega um tubo de revestimento com ponta fechada, de modo que não há limitação de profundidade devido à presença de água do subsolo.

Para a cravação da estaca, lança-se areia e brita no interior do tubo, materiais esses que são compactados através de golpes de um pilão. Realizada a cravação, executa-se o alargamento da base, a armação e, finalmente, a concretagem.

A cravação de estacas tipo Franki pode provocar o levantamento das estacas já instaladas devido ao empolamento do solo circundante que se desloca lateral e verticalmente. A estaca danificada pode ter sua capacidade de carga prejudicada ou perdida devido a uma ruptura do fuste ou pela perda de contato da base com o solo de apoio.

Quando a estaca Franki é moldada em espessas camadas submersas de turfa, argila orgânica e areias fofas, pode ocorrer estrangulamento do fuste devido à invasão de água e/ou lama dentro do tubo e o encurtamento da armação ocasionado por insuficiência de seção de aço.

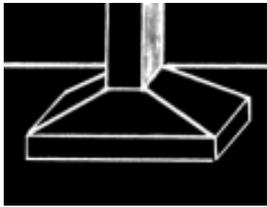
Estacas Tipo Strauss

Elemento de fundação escavado mecanicamente, com o emprego de uma camisa metálica recuperável, que define o diâmetro das estacas.

O equipamento utilizado é leve e de pequeno porte, facilitando a locomoção dentro da obra e possibilitando a montagem do equipamento em terrenos de pequenas dimensões. A perfuração é feita através da queda livre da piteira com a utilização de água. O furo geralmente é revestido. Atingida a profundidade de projeto, o furo é limpo e concretado. Durante a concretagem, o apiloamento do concreto e a retirada cuidadosa do revestimento devem ser observados, para que não haja interrupção do fuste.

Dicionário

Piteira: sonda mecânica, constituída por um tubo de aproximadamente 2,5m com diâmetro menor que o da camisa metálica.



Profunda

Dica

Para execução da estaca tipo Hélice Contínua, recomenda-se utilizar concreto com maior tempo de pega possível.

Dicionário

Lama bentonítica: fluido utilizado para estabilização de paredes das escavações, sendo uma mistura de água e bentonita. A bentonita é uma argila que, em presença de água, forma uma película impermeável ("cake") sobre uma superfície porosa, como é o caso do solo. Não mistura com o concreto e, além disso, tem a capacidade de tornar-se líquida quando agitada e gelificada quando cessado o movimento, permitindo o reaproveitamento do material.

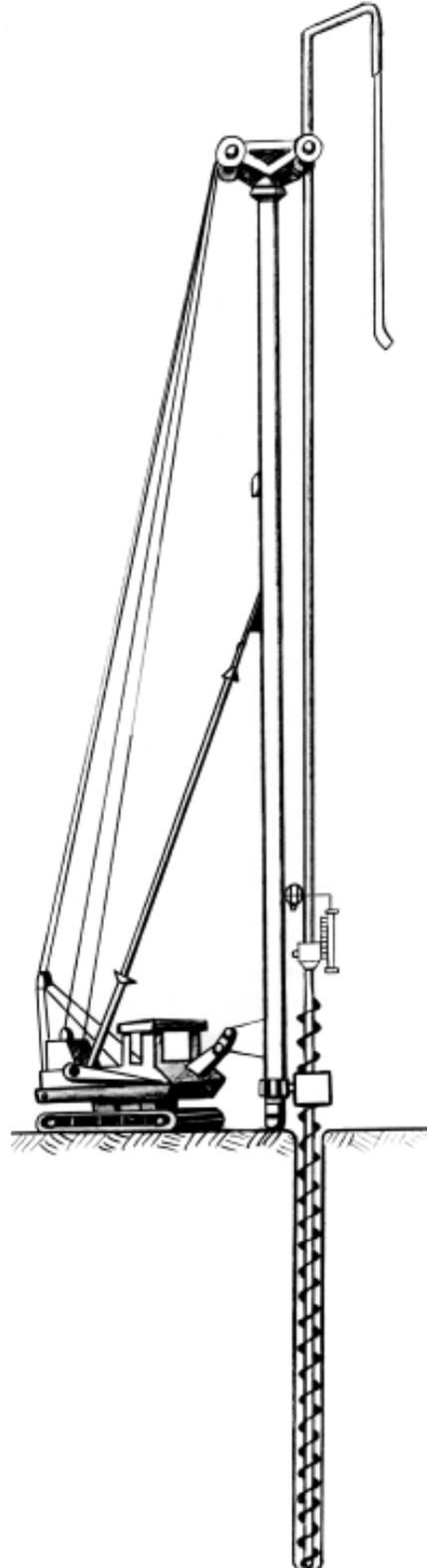
Estacas moldadas in loco escavadas mecanicamente

Hélice Contínua

Estaca de concreto moldada *in loco*, executada através de um equipamento que possui um trado helicoidal contínuo, que retira o solo conforme se realiza a escavação, e injeta o concreto simultaneamente, utilizando a haste central desse mesmo trado.

É um sistema que proporciona uma boa produtividade e, por esse motivo, é recomendável que haja uma central de concreto nas proximidades do local de trabalho. Além disso, as áreas de trabalho devem ser planas e de fácil movimentação.

O sistema pode ser empregado na maioria dos tipos de solos, exceto em locais onde há a presença de matacões e rochas. Estacas muito curtas, ou que atravessam materiais extremamente moles também devem ter sua utilização analisada cuidadosamente.



Estacas-Raiz

Estacas escavadas com perfuratriz, executadas com equipamento de rotação ou rotoperfuração com circulação de água, lama bentonítica ou ar comprimido.

É recomendado para obras com dificuldade de acesso para o equipamento de cravação, pois emprega equipamento com pequenas dimensões (altura de aproximadamente 2m). Pode atravessar terrenos de qualquer natureza, sendo indicado também quando o solo possui matacões e rocha, por exemplo. Pode ser executada de forma inclinada, resistindo a esforços horizontais.

Estaca barrete

Estacas escavadas com uso de lama bentonítica, executadas com equipamentos de grande porte, como o "clam-shell".

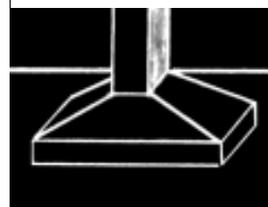
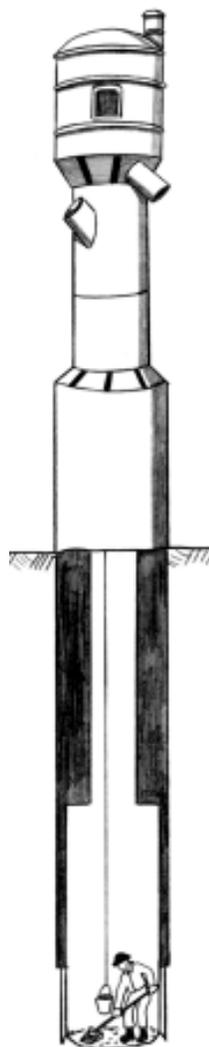
Pode ser escavada abaixo do nível d'água, até a profundidade de projeto. Na execução, a escavação é preenchida pela lama simultaneamente à retirada do solo escavado.

Tubulão

elemento de forma cilíndrica, em que, pelo menos na sua fase final de execução, há a descida do operário por dentro deste. Pode ser feito a céu aberto ou sob ar comprimido (pneumático).

Tubulão a céu aberto Escavada manualmente, não pode ser executado abaixo do nível d'água. Dispensa escoramento em terreno coesivo, mostrando-se uma alternativa econômica para altas cargas solicitadas, superior a 250 Tf.

Tubulão a ar comprimido Utilizado em terrenos que apresentam dificuldade de empregar escavação mecânica ou cravação de estacas, como em áreas com alta densidade de matacões, lençóis d'água elevados ou cotas insuficiente entre o terreno e o apoio da fundação. Nesse tipo de fundação, pode-se utilizar uma camisa metálica, de concreto ou de concreto moldado *in loco*, sendo empregada uma pressão máxima de 3,4 atm, limitando, dessa forma, a profundidade do tubulão a 34 m abaixo do nível d'água.



Características

Notas

O tubulão difere da estaca não por suas dimensões, mas pelo processo de execução.

Custos elevados e riscos de acidentes no trabalho são fatores que limitam o processo de utilização dos tubulões a ar comprimido.

Dicas

O tubulão com diâmetro inferior a 80 cm dificulta a execução, pois o operário não consegue uma boa movimentação.

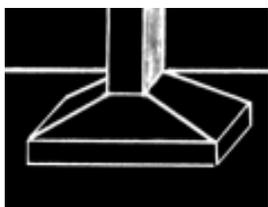
Os blocos e sapatas mais econômicos são aqueles que possuem comprimento e largura com dimensões próximas e apresentam momentos fletores parecidos em ambas as direções, simplificando a execução da armadura.

O radier é indicado para áreas totais de fundação que ultrapassam metade da área da construção.

Características das fundações

Fundações superficiais

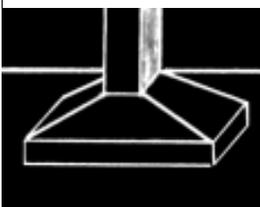
Tipos	Quando utilizar	Custo	Características Executivas
Bloco	Utilizados quando o solo apresenta alta resistência, não havendo restrição ao emprego em cargas elevadas	Baixo	Simple execução
Sapata		Baixo, porém maior que o bloco para cargas reduzidas	Simple execução Pode assumir diversas formas geométricas, para facilitar o apoio de pilares com formatos excêntricos.
Radier	Quando as sapatas se aproximam umas das outras ou se sobrepõem Quando se deseja uniformizar os recalques	Custo alto	Prazo alto, devido a necessidade de deixar toda a área a ser executada desimpedida antes de iniciar o serviço.



Características

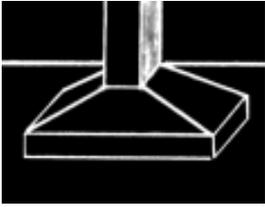
Fundações profundas

	Produtividade	Capacidade de carga	Profundidade máxima	Vibrações causadas
Estacas pré-fabricadas				
Metálica	50 m diários, ocorrendo variações em função das características do solo, profundidade da fundação, condições do terreno e distância entre estacas	20 a 200 tf	Não possui limitação de profundidade. A estaca possui aproximadamente 12 m, podendo ser emendadas.	Apresenta problemas de barulho durante a cravação. Podem ser cravadas sem causar grandes vibrações
Concreto	50 m diários, ocorrendo variações em função das características do solo, profundidade da fundação, condições do terreno e distância entre estacas	25 a 170 tf	Depende do tipo de estaca, variando de 8 a 12 m. Podem ser emendadas.	Apresenta problemas de barulho e vibrações durante a cravação
Estacas escavadas				
Strauss	30m diários	20 a 100 tf	20 a 25 m	Ausência de trepidações e vibrações em prédios vizinhos
Barretes	50 m por dia, para uma espessura de 40 cm. Além disso, a produtividade varia em função do tipo de solo e condições do terreno	500 a 1250 tf	Superior a 50 m	
Franki	40 m diários	60 a 400 tf	Até 36 m	Provoca vibração e ruídos intensos durante a execução



Características

	Produtividade	Capacidade de carga	Profundidade máxima	Vibrações causadas
Raiz	30 m diários	10 a 180 tf		Ausência de vibrações
Hélice contínua	150 a 400 m por dia, dependendo da profundidade da estaca, do diâmetro da hélice, do tipo e resistência do terreno e do torque do equipamento	25 a 390 tf	20 a 24m, existindo alguns equipamentos que chegam a 30 m	Não produz distúrbios, vibrações e descompressão do terreno
Tubulão				
Tubulão a céu aberto	4,0 m ³ de escavação manual para tubulões até 10 m de profundidade 80 m ³ de escavação mecânica para tubulões até 15 m de profundidade	150 a 1000 tf	Limitada pelo Nível de Água	Ausência de trepidações e vibrações em prédios vizinhos
Tubulão a ar comprimido	Variável, pois depende muito do tipo de solo	800 a 1000 tf	34 m abaixo do nível d'água	Ausência de trepidações e vibrações em prédios vizinhos



Análise/Conclusão

Nota

Devemos salientar que o custo de um tipo de fundação envolve variáveis importantes, tais como, o prazo de execução e os parâmetros técnicos que determinam ou limitam a escolha da fundação. Dessa forma, afirmar que um tipo de fundação é mais econômico que outro depende de cada projeto.

Análise de custo das fundações profundas

Considerando uma escala relativa de custos da utilização de fundações profundas, podemos, de um modo genérico, afirmar que:

- a estaca pré-moldada é uma das soluções mais econômicas;
- a estaca tipo hélice já foi considerada de custo elevado porém, devido a sua alta produtividade e ao aumento da demanda, houve uma progressiva redução de custos ao longo dos anos;
- a estaca Franki é considerada mais custosa que as estacas anteriores (pré-moldada e hélice), porém de custo inferior a estaca raiz;
- a estaca do tipo raiz apresenta alto custo;
- O tubulão é uma solução viável quando utilizado acima do nível d'água e com pequenas profundidades, de 4 a 6 m.

Conclusão

O melhor tipo de fundação é aquela que suporta as cargas da estrutura com segurança e se adequa aos fatores topográficos, maciço de solos, aspectos técnicos e econômicos, sem afetar a integridade das construções vizinhas.

É importante a união entre os projetos estrutural e o projeto de fundações num grande e único projeto, uma vez que mudanças em um provocam reações imediatas no outro, resultando obras mais seguras e otimizadas.