



CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

REFORÇO EM FUNDAÇÕES

Edmundo Ribeiro Rosa Neto

2013

UNIEVANGELICA – CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ANÁPOLIS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

REFORÇO EM FUNDAÇÕES

EDMUNDO RIBEIRO ROSA NETO

Anápolis - Goiás
2013

EDMUNDO RIBEIRO ROSA NETO

REFORÇO EM FUNDAÇÕES

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao
curso de engenharia Civil da UniEvangélica.

ORIENTADOR: MSc. Sandoval Junqueira

Anápolis / GO: 2013

FICHA CATALOGRÁFICA

ROSA NETO, EDMUNDO RIBEIRO.

Reforço em Fundações [Goiás] 2013, xi, 58P, 297 mm (ENC/UniEvangélica, Bacharel, Engenharia Civil, 2013).

TCC - Unievangélica

Curso de Engenharia Civil.

- | | |
|--------------|---------------|
| 1. Projeto | 2. Reforço |
| 3. Fundações | 4. Engenharia |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ROSA NETO, E. R. Reforço em Fundações. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 58P. 2013.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Edmundo Ribeiro Rosa Neto.

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:
Reforço em Fundações

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2013

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Edmundo Ribeiro Rosa Neto

Avenida Araguaia, Qd. 71 Lt. 14, Bairro de Lourdes

75095-450 – Anápolis/Goiás - Brasil

EDMUNDO RIBEIRO ROSA NETO

REFORÇO EM FUNDAÇÕES

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.

APROVADO POR:

**Sandoval Junqueira, MSc., UniEvangélica
(ORIENTADOR)**

**Agnaldo Antônio Moreira Teodoro Da Silva, UniEvangélica
(EXAMINADOR INTERNO)**

**Julliana Simas Ribeiro, MSc., UniEvangélica
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: ANÁPOLIS/GO, _____ de _____ de 2013.

AGRADECIMENTO

A Deus, luz do meu caminho e fortaleza no caminhar.

Aos meus pais por toda dedicação e por acreditar e incentivar na longa caminhada.

Aos amigos que sempre me ajudaram a superar barreiras e conquistar meus objetivos.

A minha amada por compreender os momentos de ausência e por estar ao meu lado.

DEDICATÓRIA

A Deus, pelo dom da vida.

A minha família pelo exemplo de vida.

Ao meu orientador pelas orientações necessárias para a concretização desta pesquisa.

“A concepção de fundações é, na realidade, um misto de ciência e arte.”

Velloso e Lopes (2011)

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Trados manuais mais utilizados.....	16
Figura 2.2 - Sondagem SPT	16
Figura 2.3 - Sondagens rotativas.....	17
Figura 2.4 - Ensaio CPT.....	17
Figura 2.5 - Ensaio Pressiométrico (PMT).....	18
Figura 2.6 - Dilatômetro	19
Figura 2.7 - Fundação Superficial e Profunda	22
Figura 2.8 - Fundação superficial	23
Figura 2.9 - Principais tipos de fundações superficiais	23
Figura 2.10 - Dimensões do bloco de fundações	24
Figura 2.11 - Sapata	25
Figura 2.12 - Sapata Corrida (viga de fundação ou baldrame)	26
Figura 2.13 - Sapatas Associadas	26
Figura 2.14 - Principais tipos de radier	27
Figura 2.15 - Fundação Profunda	28
Figura 2.16 - Equipamento para cravação das estacas pré-moldadas de concreto	32
Figura 2.17 - Estaca Mega	33
Figura 2.18 - Sequencia executiva da execução de uma estaca tipo Franki	34
Figura 2.19 - Estaca Broca	35
Figura 2.20 - Equipamento de Estaca Escavada	36
Figura 2.21 - Microestacas	37
Figura 2.22 - Fase executiva da Estaca Raiz	38
Figura 2.23 - Execução de Estaca Hélice Contínua Monitorada	39
Figura 2.24 - Execução de Estaca Hélice de Deslocamento Monitorada	40
Figura 2.25 - Tubulão a céu aberto	41
Figura 2.26 - Tubulão a ar comprimido	42
Figura 2.27 - Caixões	43
Figura 2.28 - Torre de Pisa	45
Figura 2.29 - Tipos de Movimentos	47
Figura 2.30 - Movimentação das fundações conforme NBR 6122 (ABNT, 2010)	48
Figura 2.31 - Perfil de Solo: Real e Otimista	51

Figura 2.32 - Comprimento real de calculo a ser utilizado em estacas
 muito profundas 53

Figura 2.33 - Comportamento da estaca de aço no solo, flambando devido
 ao perfil de solo 54

Figura 2.34 - Edifício Boulevard: Reforço em Estaca Raiz 57

Figura 2.35 - Residência: Reforço em Estaca Mega 58

Figura 2.36 - Banco Bradesco: Alteração de Carga 59

Figura 2.37 - Banco Itaú: Acréscimo de Pilares..... 60

Figura 2.38 - Teatro Goiânia: Acréscimo de Pilares 61

Figura 2.39 - Edifício Rio Amazonas: Acréscimo de Pilares 62

Figura 2.40 - Edifício Blue Tree: Interferência de construções vizinha 63

Figura 2.41 - Edifício Comercial: Fundação em estaca pré-moldade 64

LISTA DE ABREVIATURAS

SPT – *Standart Penetration Test*

CPT - *Cone Penetration Test*

PMT - *Pressiometer Ménard Test*

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR – Normas Brasileiras de Regulamentação

ACI – *American Concrete Institute*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
	2.1 Considerações sobre Sondagem – Investigação do Subsolo	14
	2.1.1 Investigações Geotécnicas	14
	2.1.2 Investigação Insuficiente	19
	2.2 Considerações sobre Fundações	21
	2.2.1 Conceito de Fundações	21
	2.2.2 Tipos de Fundações	22
	2.2.2.1 Fundação Superficial (Diretas)	22
	2.2.2.2 Fundação Profunda (Indiretas)	28
	2.3 Reforço de Fundações	43
	2.3.1 Recalque	44
	2.3.2 Soluções de reforço	49
	2.3.3 Projeto de Reforço	50
	2.4 Descrevendo a Pesquisa de Campo	55
	2.4.1 Metodologia	55
	2.4.2 Casos estudados	56
	2.4.2.1 Reforço – Estaca Raiz	56
	2.4.2.2 Reforço em estaca mega de concreto	57
	2.4.2.3 Alteração de Carga	58
	2.4.2.4 Acréscimos de Pilares	59
	2.4.2.5 Rachaduras – Reforço de Fundação	60
	2.4.2.6 Reforço Preventivo – Acrescimento de dois pavimentos	62
	2.4.2.7 Interferência de construções vizinha	63
	2.4.2.8 Obras sem necessidade de reforço	64
	2.4.3 Análise dos Resultados	64
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70

RESUMO

Por mais simples que seja um projeto de engenharia é necessário um conhecimento prévio de onde ele será implantado, pois, será transmitida através do elemento estrutural de fundação cargas para o terreno, neste ínterim esta pesquisa tem como objeto reforço de fundação, por entender que no desenvolvimento de projetos de fundações os requisitos básicos deverão ser atendidos como deformações aceitáveis sob as condições de trabalho, segurança adequada à ruptura do solo e dos elementos estruturais. Partindo do pressuposto de que o reforço de fundações é importante para segurança e a preservação do patrimônio e deve ser feita por uma empresa de Engenharia especializada em grandes obras de reforço de fundação e preocupada com o resultado final das obras, é que surgiu o interesse por esta pesquisa. Tendo como objetivo verificar a importância de um reforço de fundação em uma estrutura. A metodologia utilizada foi a bibliográfica pois, foi realizado consultas sobre o tema, e, posteriormente realizou-se um estudo de caso/fotografias de obras para efeito de comparação entre a teoria e a prática e, como consequência, contribuir no processo de validação e aceitação desse tipo de sistema como elemento de reforço de fundação. Como resultado aponta-se que a falta de conhecimento prévio dos parâmetros do solo poderá causar problemas específicos, dependendo do tipo de estrutura a ser executada pois, uma fundação planejada tendo como base laudo de sondagem tem que suportar as cargas que agem sobre ela e distribuí-las para o solo, sem que as tensões oriundas destas cargas provoquem, a ruptura do solo e consequentemente o recalque a estrutura.

Palavras-chave: Projeto. Reforço. Fundação.

ABSTRACT

Simple as it is an engineering design it is necessary to have prior knowledge of where it is deployed, it will be transmitted through the structural foundation element loads to the ground, in the meantime this research aims reinforcement of foundation, understanding that the project development foundations basic requirements must be met as acceptable deformations under working conditions, adequate to break the soil and structural elements of security. Assuming that the strengthening of foundations is important for safety and preservation of heritage and should be done by an engineering company specializing in large scale works to strengthen the foundation and worried about the end result of works, that arose the interest in this research. Aiming to verify the importance of strengthening the foundation for a structure. The methodology used was the literature it was held consultations on the issue, and subsequently carried out a case study / photographs of works for purposes of comparison between theory and practice and, consequently, contribute to the validation process and acceptance this type of system as a reinforcement element foundation. As a result it is pointed out that the lack of prior knowledge of the parameters of the soil may cause specific problems, depending on the type of structure to be performed as a planned foundation based on report of survey must bear the loads acting on it and distribute them to the ground without tensions arising from these charges cause the rupture of the soil and hence the discharge structure.

Keywords: Project. Reinforcement. Foundation.

1 - INTRODUÇÃO

A fundação é o resultado da necessidade de transmissão de cargas ao solo pela construção de uma estrutura. No aparecimento de patologias ou mau desempenho das fundações, é de suma importância evitá-las, nas várias etapas da vida de uma fundação ou as condições que levem a essa ocorrência.

Considerando que a fundação é um elemento de transição entre a estrutura e o solo, seu comportamento está intimamente ligado ao que acontece com o solo quando submetido a carregamento através dos elementos estruturais das fundações, um estudo detalhado do caso tem que ser feito, levando em consideração uma série de estudos e laudos, para que assim seja apontada uma solução técnica compatível com as condições econômicas dos proprietários. (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2005)

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo “Reforço em Fundação”, o qual mostra que quando é notado comportamento inadequado de uma fundação de uma estrutura deve ser feito, a identificação das causas do insucesso do processo da transferência de carga da estrutura para o solo e após a identificação deve ser levantada as medidas mitigativas para a sua recuperação.

Essa pesquisa será embasada na seguinte situação problema: É preciso que exista uma intervenção no sistema solo-fundação-estrutura para que ocorra modificação em seu desempenho? Pois, “num projeto de fundação, diferente de um projeto estrutural, trabalha-se com o solo, ou seja, um material não fabricado pelo homem, portanto a competência e a experiência do projetista são bastante relevantes para a obtenção de parâmetros do solo e processamento de dados para projeto. (VELOSO, 1990)

Tendo como base o problema citado aponta-se como hipóteses:

- Intervenção faz-se necessária nos casos em que as fundações existentes se mostrem inadequadas para o suporte das cargas atuantes ou, ainda, quando ocorrer um aumento no carregamento e o novo valor não puder ser absorvido sem riscos e reduções consideráveis nos coeficientes de segurança.
- As causas prováveis para o mau desempenho de uma fundação são: ausência, insuficiência, má qualidade ou má interpretação das investigações geotécnicas; modelos inconvenientes de cálculo das fundações; má execução ou má qualidade dos materiais empregados nas fundações; influências externas tais como escavações ou deslizamentos não previsíveis; modificação no

carregamento devido à mudança no tipo de utilização da estrutura; ou ainda ampliações de áreas e/ou acréscimos de andares.

- As soluções para os serviços de reforços são muito variadas e dependem das condicionantes do problema em questão, tais como: tipo de solo, urgência, fundações existentes, nível de carregamento e espaço físico disponível.

O interesse maior por desenvolver esta pesquisa está em acreditar que o reforço de fundações é importante para segurança e a preservação do patrimônio e deve ser feita por uma empresa de Engenharia especializada em grandes obras de reforço de fundação e preocupada com o resultado final das obras.

O verificar a importância de um reforço de fundação em uma estrutura. Apontou-se ainda como objetivos específicos:

- Analisar uma estrutura que apresenta patologias em sua fundação, verificando a situação do reforço a ser empregado podendo ser um reforço permanente, provisório ou até a substituição da fundação.
- Realizar um diagnóstico quantificando os danos, executando uma nova sondagem, instrumentar para avaliar a magnitude e a velocidade da deformação.
- Aprimorar os conhecimentos sobre reforço em fundação através de revisão bibliográfica e do estudo de caso.
- Estudar os critérios adotados para a escolha do reforço em fundação.
- Verificar a real função do reforço em fundação, sua história e o campo de utilização.

A realização deste justifica-se em demonstrar que um reforço na fundação evita que a estrutura chegue ao colapso. Afinal, o reforço de uma fundação serve para manter uma estrutura com suas características próximas as originais. Sendo necessário quando a estrutura apresenta patologia decorrente das fundações.

A metodologia utilizada foi a bibliográfica. E realização de fotos de edifícios para análise das fundações, na cidade de Goiânia-GO.

A seriedade da realização deste trabalho está em mostrar a importância do reforço em fundação dentro de uma obra. Pois, qualquer estrutura concebida pelo homem deve atender a requisitos pré-estabelecidos, sejam eles conforto, durabilidade, estética ou econômica.

2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Considerações sobre Sondagem – Investigação do Subsolo

2.1.1 Investigações Geotécnicas

Todo projeto geotécnico e de fundação exige o reconhecimento do solo para a determinação dos métodos de cálculo, dos coeficientes de segurança e cargas de ruptura e tensão admissível. Para a obtenção das amostras é necessário que a execução de ensaios *in situ*, poderia também ser feitas análises em laboratório, no entanto no geral essas análises são feitas no local. (MILITO, 2012); (QUARESMA, et al, 1998); (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2006).

É sempre aconselhável a execução de sondagens, no sentido de reconhecer o subsolo e escolher a fundação adequada, fazendo com isso, a redução do custo das fundações. As sondagens representam, em média, apenas 0,05 à 0,005% do custo total da obra (MILITO, 2012).

O reconhecimento do subsolo para efeito de implantação de uma infraestrutura, preliminarmente, é feito através de sondagens por percussão, em pontos escolhidos e distribuídos na área em estudos, e conduzidos a uma profundidade que inclua todas as camadas do subsolo que poderão ser influenciadas pelos carregamentos suportados pelas fundações. (CUNHA, 2003).

Quaresma, *et al* (1998) descrevem que a elaboração de projetos geotécnicos em geral e de fundação em particular exige, obviamente, um conhecimento adequado dos solos. É necessário proceder-se a identificação e a classificação das diversas camadas componentes do substrato a ser analisado, assim como a avaliação das suas propriedades de engenharia. A determinação das propriedades de engenharia em principio, tanto poderia ser feito através de ensaios de laboratórios quanto ensaios de campo. No entanto, entre os ensaios de campos o *Standart Penetration Test* – SPT é, de longe, o ensaio mais executado na maioria dos países do mundo, e também no Brasil.

Para Velloso; Lopes (2011), o a investigação adequada do subsolo é a definição de um programa, que irá definir as etapas da investigação e os objetivos a serem alcançados. As etapas são:

- **Investigação preliminar** – objetiva-se conhecer as principais características do subsolo. Nesta fase, em geral, são executadas apenas sondagens a percussão salvo nos casos em que se sabe a priori da ocorrência de blocos de rocha que precisam ser ultrapassados na investigação, quando então, solicitam-se sondagens mistas.
- **Investigação complementar ou de projeto** – procuram-se esclarecer as feições relevantes do subsolo e caracterizar as propriedades dos solos mais importantes do ponto de vista do comportamento das fundações. Nesta etapa, são realizados alguns ensaios in situ – além do ensaio de penetração dinâmica (SPT), que é executado nas sondagens a percussão. As amostras indeformadas podem ser utilizadas em ensaios em laboratório, os quais devem ser especificados e acompanhados pelo projetista.
- **Investigação para fase de execução** – ela visa confirmar as condições do projeto em áreas críticas da obra, assim consideradas pela responsabilidade das fundações (exemplo típico: pilares de pontes), ou pela grande variação dos solos na obra. Outra necessidade de investigação na fase da obra pode vir da dificuldade de executar o tipo de fundação prevista.

As sondagens são procedimentos de engenharia que têm por objetivo a obtenção de informações de subsuperfície de uma área na terra, ou na água. Na ausência de investigação do subsolo, (típico de obras de pequenos e médios portes) mais de 80% dos casos de mau desempenho das fundações das obras têm como causa a ausência completa de investigação (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2005).

Velloso; Lopes (2011) os principais processos de investigação do subsolo para fins de projeto de fundações de estruturas são:

- **Poços e Sondagem a trado** – Os poços são escavações manuais, geralmente não escoradas, que avançam até que se encontre o nível d'água ou até onde for estável. As sondagens a trado são perfurações executadas com um dos tipos de trado manuais mostrado na Figura 2.1 (VELLOSO, LOPES, 2011)

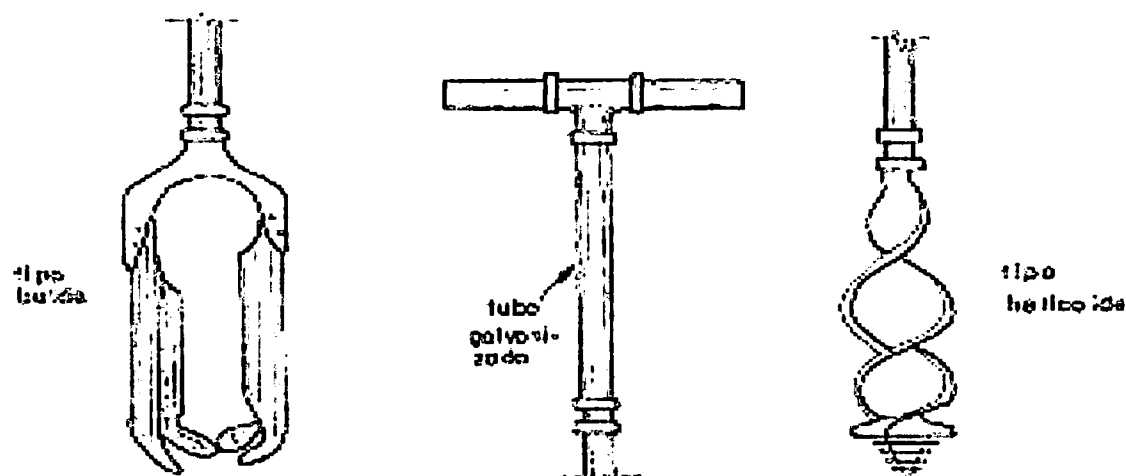


Figura 2.1 – Trados Manuais mais Utilizados

Fonte: Velloso; Lopes (2011)

- Sondagem a percussão – são perfurações capazes de ultrapassar o nível d'água e atravessar solos relativamente compactos os duros. O furo é revestido se apresentar instável; caso se apresente estável, a perfuração pode prosseguir sem revestimento, eventualmente adicionando-se um pouco de bentonita à água. A perfuração avança na medida em que o solo, desagregado com auxílio de um trépano, é removido por circulação de água (lavagem). O equipamento de sondagem está mostrado na Figura 2.2. (VELLOSO, LOPES, 2011)

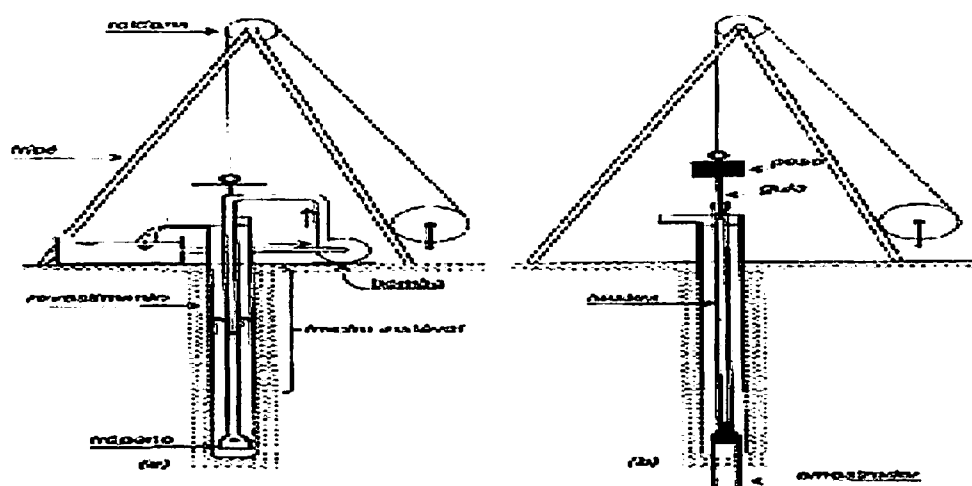


Figura 2.2 – Sondagem SPT

Fonte: Velloso; Lopes (2011)

- Sondagens rotativas e mistas – Na ocorrência de elementos de rocha que precisam ser ultrapassados no processo de investigação (caso de matacões ou blocos), ou que precisam ser caracterizados, utilizam-se as sondagens rotativas, figura 2.3. As

sondagens mistas são uma combinação de um equipamento de sondagem rotativa, com um equipamento de sondagem a percussão (para SPT). (VELLOSO, LOPES, 2011)



Figura 2.3 – Sondagens Rotativas

Fonte: F.X. Fundações (2013)

- Ensaio de Cone (CPT) – O ensaio de cone (CPT) se difundiu no mundo todo graças à qualidade de suas informações (figura 2.4). Ele consiste basicamente na cravação a velocidade lenta e constante de uma haste com ponta cônica, medindo-se a resistência encontrada na ponta e a resistência por atrito lateral. (VELLOSO, LOPES, 2011)

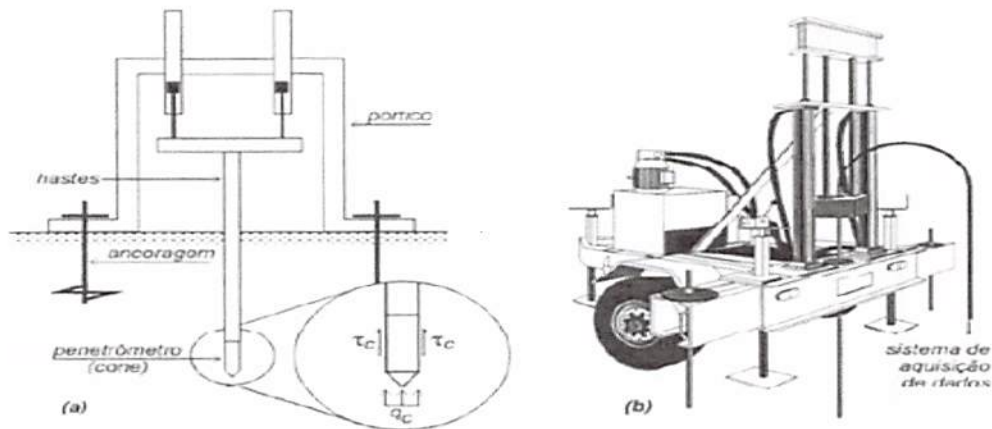


Figura 2.4 – Ensaio CPT

Fonte: Velloso; Lopes (2011)

- Ensaio pressiométrico (PMT) – Consiste na expansão de uma sonda ou célula cilíndrica instalada em um furo executado no terreno. A célula, normalmente de borracha, expande-se com a injeção de água pressurizada, e a sua variação de volume é medida na superfície do terreno juntamente com a pressão aplicada, veja na Figura 2.5. (VELLOSO, LOPES, 2011)

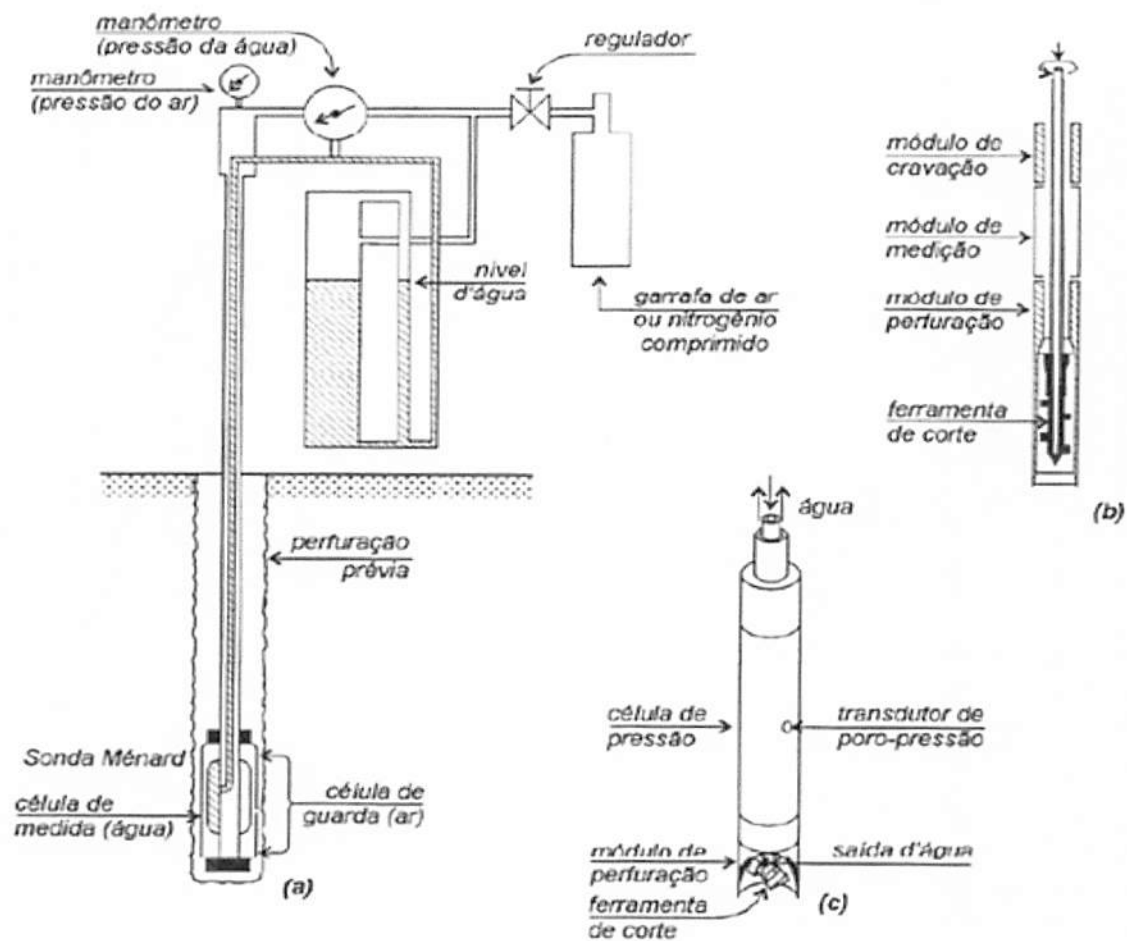


Figura 2.5 – Ensaio Pressiométrico (PMT)

Fonte: Velloso; Lopes (2011)

- Outros ensaios in situ (vane test, dilatômetro) – o ensaio vane test é utilizado para caracterizar argila moles e, por isso tem uso limitado nos estudos de fundações para estruturas. O dilatômetro (figura 2.6) é cravado no terreno da mesma forma que o cone no ensaio CPT e, na profundidade desejada, recebe ar comprimido até que sua membrana passe pela condição de repouso (a membrana, sob ação da cravação, sofre deslocamento negativo) e expanda-se 1 mm, quando então são registradas as pressões correspondentes. (VELLOSO, LOPES, 2011)

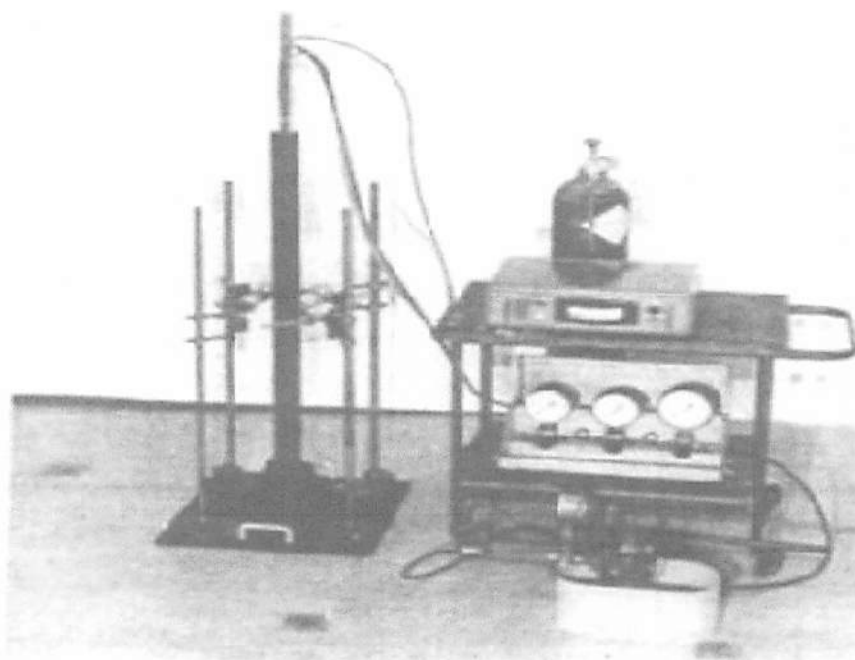


Figura 2.6 – Dilatômetro

Fonte: Azevedo (2013)

2.1.2 Investigação Insuficiente

O planejamento de um programa de investigação deve ser concebido por um engenheiro experiente que possa atribuir os custos à complexidade ou dificuldades do projeto. Patologias decorrentes de incertezas quanto às condições do subsolo podem ser resultados da simples ausência de investigação, de uma investigação ineficiente ou com falhas ou ainda da má interpretação dos resultados das sondagens (MILITITSKI, 1989).

Segundo Milititsky (2008), quando a investigação é insuficiente ela se torna inadequada à identificação de aspectos que acabam comprometendo o comportamento da fundação projetada.

Quanto à existência de falha na investigação, Milititsky, Consoli, Schnaid (2005) falam que ela ocorre, seja por imperícia, falta de profissionalismo por parte dos executores ou também através de erros de utilização dos aparelhos. Eles alertam ainda para que não ocorram falhas, os aparelhos devem estar sempre em boas condições e afinados, para que mostrem a realidade do perfil e não uma possível situação do terreno. Uma falha também usual é a utilização de instrumento errado para o tipo de solo a ser estudado.

Segundo Milititsky, Consoli, Schnaid (2005) Seguem a seguir alguns casos de problemas relacionados a investigações geotécnicas:

- Ausência de investigação do subsolo é uma das mais comuns das causas de problemas que comprometem as fundações, esta ausência está ligada a falta de conhecimento da importância dessa investigação.
- Falha do Projetista ao analisar laudos de campo, falha em equipamentos de medição, fraudes em apresentação de resultados, adoção de procedimentos inadequados.
- Número insuficiente de número de sondagens ou ensaios para áreas extensas ou de subsolo variado, eventualmente cobrindo diferentes unidades geotécnicas (causa comum de problemas em obras correntes, pela extrapolação indevida de informações).
- Profundidade de investigação insuficiente, não caracterizando camadas de comportamento distinto, em geral de pior desempenho, também solicitadas pelo carregamento.
- Propriedades de comportamento não determinadas por necessitar ensaios especiais (expansibilidade, colapsibilidade etc.)

É bom lembrar para uma adequada investigação deve-se seguir as normas ABNT NBR 6122/2010; ABNT NBR 8036/1983 e fazer de uso da experiência e do bom senso.

É importante acrescentar ainda os casos especiais - as dificuldades de se planejar um programa racional de investigação podem ser acrescidas de ocorrências especiais, tais como: influência da vegetação, solos colapsáveis, solos expansíveis, zonas de mineração, zonas cársticas e ocorrência de matacões, que podem resultar de patologias importantes e custos elevados de recuperação, daí a necessidade de se fazer uma investigação bastante minuciosa do solo onde pretende-se construir. (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2005).

De acordo com a norma brasileira NBR 6122 (2010) os fatores de segurança de um projeto de fundação devem ser refletidos a cerca do estado-limite último e estado-limite de utilização. Porém é usual que essa análise seja feita para estado-limite último de ruptura, deformação plástica (análise de ruptura) e verificação do estado-limite de utilização caracterizado por deformações excessivas (análise de deformações).

2.2 Considerações sobre Fundações

Joppert Junior (2007) descreve que a escolha correta de uma solução de fundação deve passar necessariamente por uma criteriosa análise técnica e econômica de várias alternativas, devendo ser ponderadas variáveis tais como as condições das edificações vizinhas à obra, geotécnica local, viabilidade executiva e existência de mão-de-obra especializada para execução da solução definida.

“A concepção de fundações é na realidade, um misto de ciência e arte” (LOPES; VELOSO, 2011). Segue abaixo as considerações sobre fundações.

2.2.1 Conceito de Fundações

“Considerando que a fundação é um elemento de transição entre a estrutura e o solo, seu comportamento está intimamente ligado ao que acontece com o solo quando submetido a carregamento através dos elementos estruturais das funções” (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2005).

Num projeto de fundação, diferente de um projeto estrutural, trabalha-se com o solo, ou seja, um material não fabricado pelo homem, portanto a competência e a experiência do projetista são bastante relevantes para a obtenção de parâmetros do solo e processamento de dados para projeto. (VELLOSO; LOPES, 2011)

Azeredo (1988) conceitua fundações como os elementos estruturais com função de transmitir as cargas da estrutura ao terreno onde ela se apóia. Assim, as fundações devem ter resistência adequada para suportar às tensões causadas pelos esforços solicitantes. Além disso, o solo necessita capacidade de suporte apropriada para não sofrer ruptura e não apresentar deformações exageradas ou diferenciais.

É importante destacar que é preciso conhecer os esforços atuantes sobre uma edificação, portanto, “para se escolher a fundação mais adequada, é necessário conhecer 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” (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2005).

No entanto, Brito (1987) descreve que as 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.

2.2.2 Tipos de Fundações

Segundo Veloso; Lopes (1998) as fundações são convencionalmente separadas em dois grandes grupos: fundações superficiais (ou diretas) e fundações profundas (ou indiretas). De acordo com a Figura 2.7.

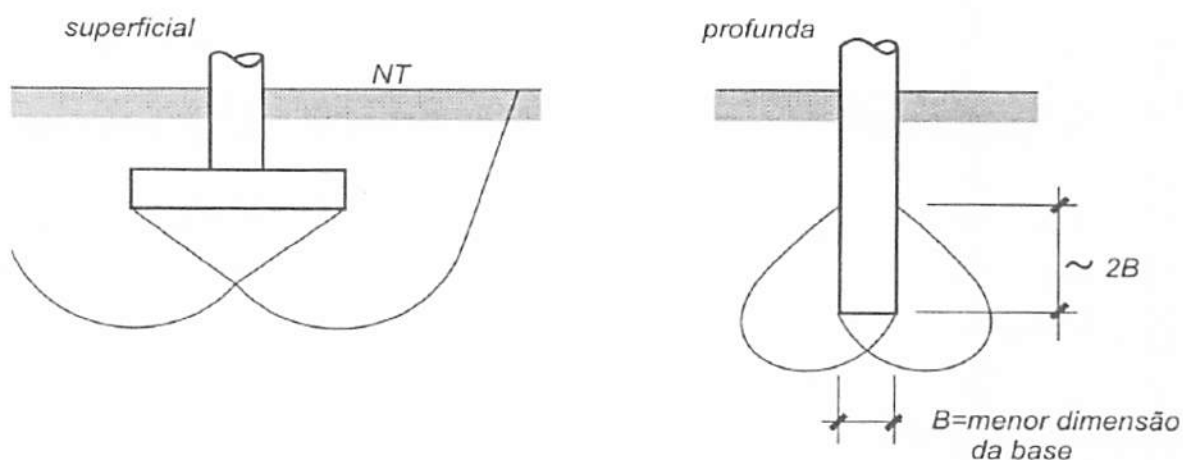


Figura 2.7 – Fundação Superficial e Profunda
Fonte: Veloso; Lopes (1998)

2.2.2.1 Fundação Superficial (Diretas)

De acordo com a NBR 6122/2010, as fundações diretas ou superficiais são aquelas em que a carga é transmitida ao solo, predominantemente pelas tensões distribuídas sob a base do elemento estrutural de fundação, estando assente a uma profundidade inferior a duas vezes o valor da menor dimensão do elemento estrutural da fundação.

Fundações diretas são aquelas que transferem as cargas para camadas de solo capazes de suportá-las, 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. As fundações diretas podem ser subdivididas em rasas e profundas. (BRITO, 1987, p.29)

Quando a camada de suporte está próxima à superfície do solo (profundidade até 2,5 m), ou quando a cota de apoio é inferior à largura do elemento da fundação essa é chamada de fundação rasa. Portanto, a fundação que ultrapassar essas dimensões é considerada profunda (FABIANI, 1987); (BRITO, 1987).

Alonso (1979) define fundações rasas como aquelas que se apoiam logo abaixo da infra-estrutura e se caracterizam pela transmissão da carga ao solo por meio de pressões distribuídas sob sua base. Figura 2.8.

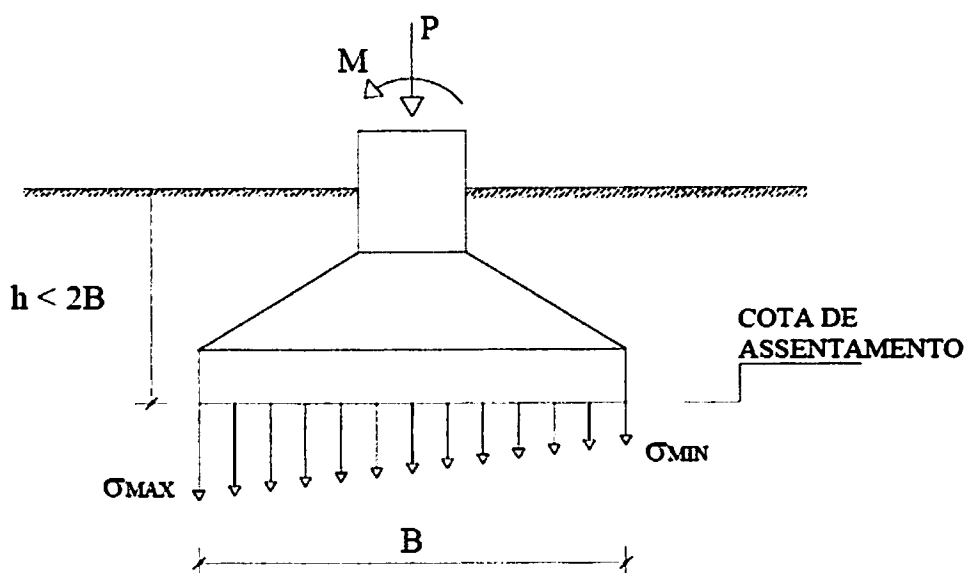


Figura 2.8 – Fundação superficial

Fonte: Alonso (1979)

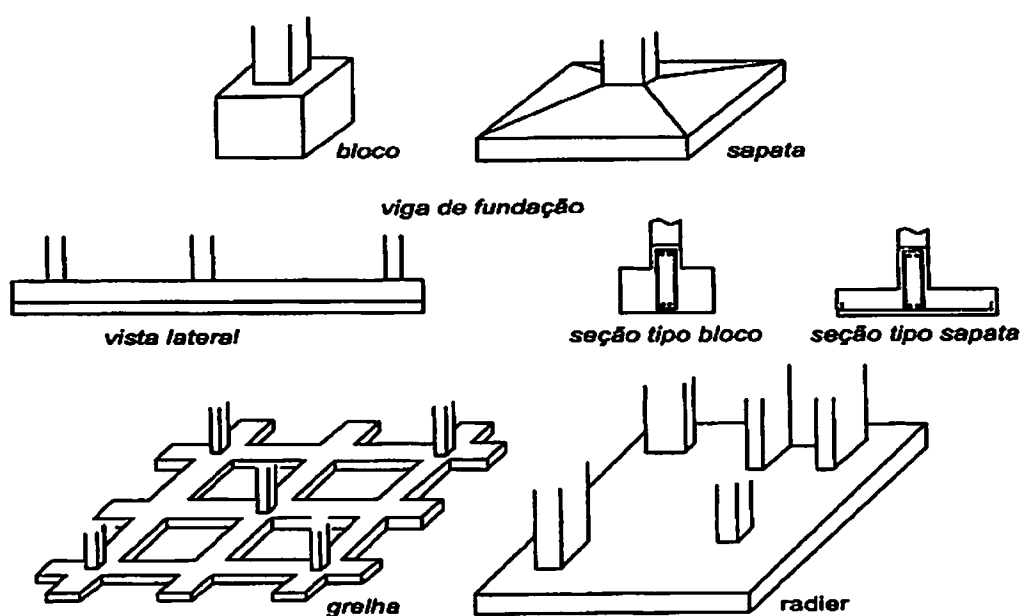


Figura 2.9 – Principais tipos de fundações superficiais

Fonte: Velloso; Lopes (2011)

- Blocos

Blocos são tipos de fundações utilizadas quando há atuação de pequenas cargas. Os blocos são elementos estruturais de grande rigidez, ligados por vigas denominadas baldrame, que suportam predominantemente esforços de compressão simples provenientes das cargas dos pilares. Os eventuais esforços de tração são absorvidos pelo próprio material do bloco. Geralmente, usa-se blocos quando a profundidade da camada resistente do solo está entre 0,5 e 1,0 m de profundidade (BRITO,1987).

Velloso e Lopes (2011) defendem que bloco é um elemento de fundação de concreto simples dimensionado de maneira que as tensões de tração nele resultantes possam ser resistidas pelo concreto, sem necessidade de armadura.

Bellina, *apud* Moraes (1976) Blocos de concreto simples são usados para carregamento não superiores a 50 toneladas e para solos cujas taxas admissíveis não sejam inferiores a 2 kg/cm².

Alonso (1979) defende que blocos são elementos de grande rigidez executados com concreto simples ou ciclópico (portanto não armados), dimensionados de modo que as tensões de tração neles produzidas sejam absorvidas pelo próprio concreto. Veja na Figura 2.10, a seguir.

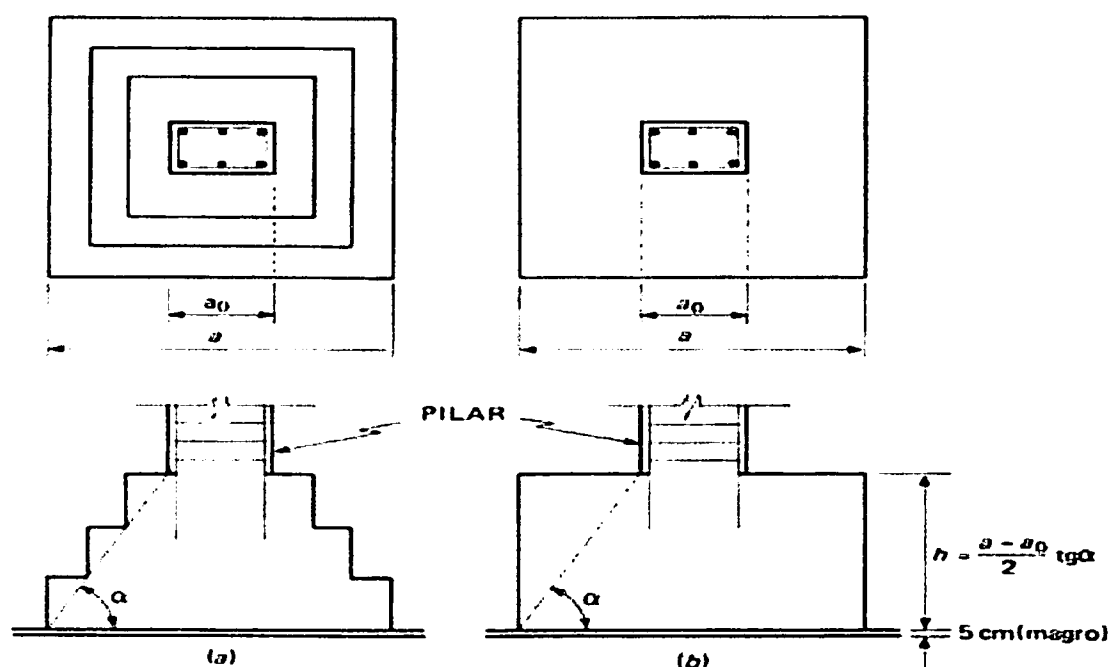


Figura 2.10 – Dimensões do bloco de fundações

Fonte: Alonso (1979)

- Sapatas

Brito (1987) diz que existem também as sapatas que são o contrário dos blocos, elas não trabalham apenas à compressão simples, mas também à flexão, devendo neste caso serem executadas incluindo material resistente à tração.

As sapatas ao contrário dos blocos, são elementos de fundação executadas em concreto armado, de altura reduzida em relação as da base e que se caracterizam por trabalhar a flexão (ALONSO, 1979). Veja a Figura 2.11.

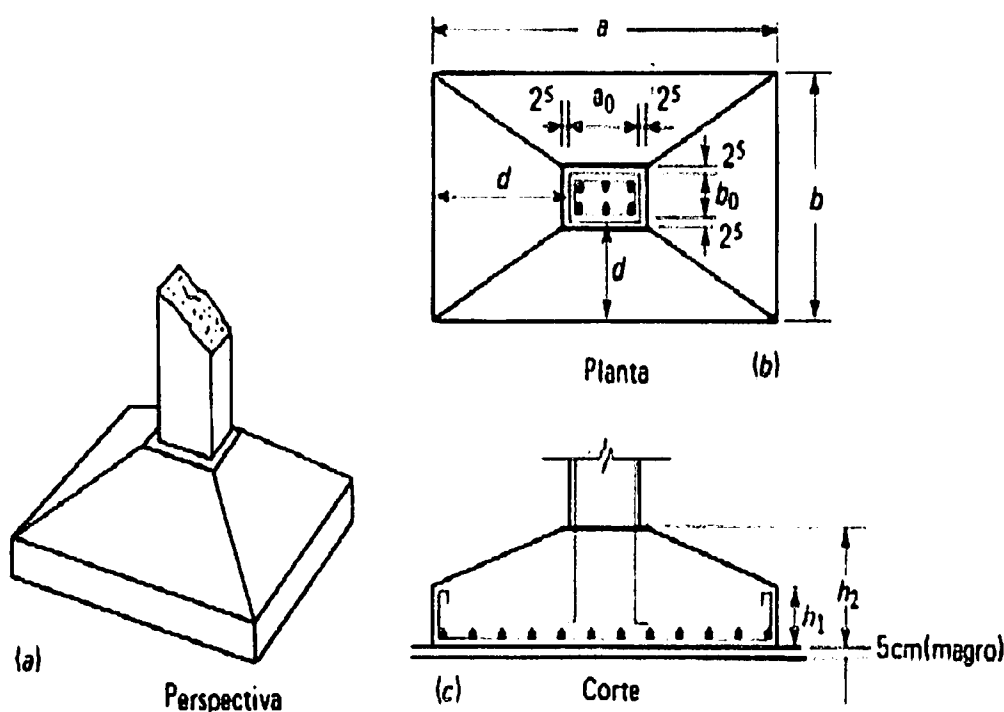


Figura 2.11 – Sapata

Fonte: Alonso (1979)

Velloso; Lopes (2011) sapata é um elemento de fundação superficial de concreto armado, dimensionado de modo que as tensões de tração nele resultante sejam resistidas por armadura especialmente disposta para esse fim (por isso as sapatas tem menor altura do que os blocos).

- Sapatas Corridas

Para Brito (1987) sapatas corridas são elementos contínuos que acompanham a linha das paredes, as quais lhes transmitem a carga por metro linear. Para edificações cujas cargas não sejam muito grandes, como residências, pode-se utilizar alvenaria de tijolos.

Sapata Corrida (Figura 2.12) é aquela “sujeita à ação de uma carga distribuída linearmente ou de pilares ao longo de um mesmo alinhamento (às vezes chamadas de baldrame ou viga de fundação)”. (VELLOSO; LOPES, 2011)

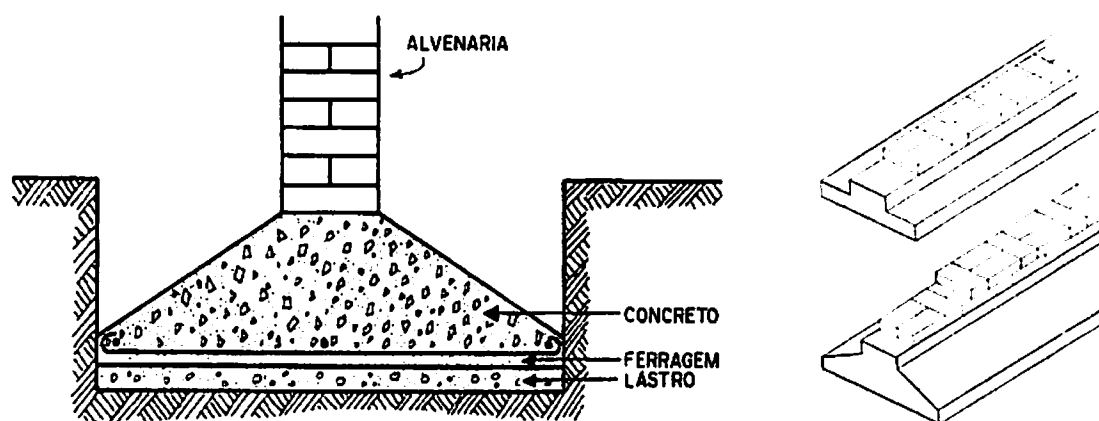


Figura 2.12 – Sapata Corrida (viga de fundação ou baldrame)

Fonte: Brito (1987)

- Sapatas Associadas

Sapata que recebe mais de um pilar (VELLOSO; LOPES, 2011)

Brito (1987) defende que é 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 e tem a função de permitir que a sapata trabalhe com tensão constante (BRITO, 1987). Figura 2.13.

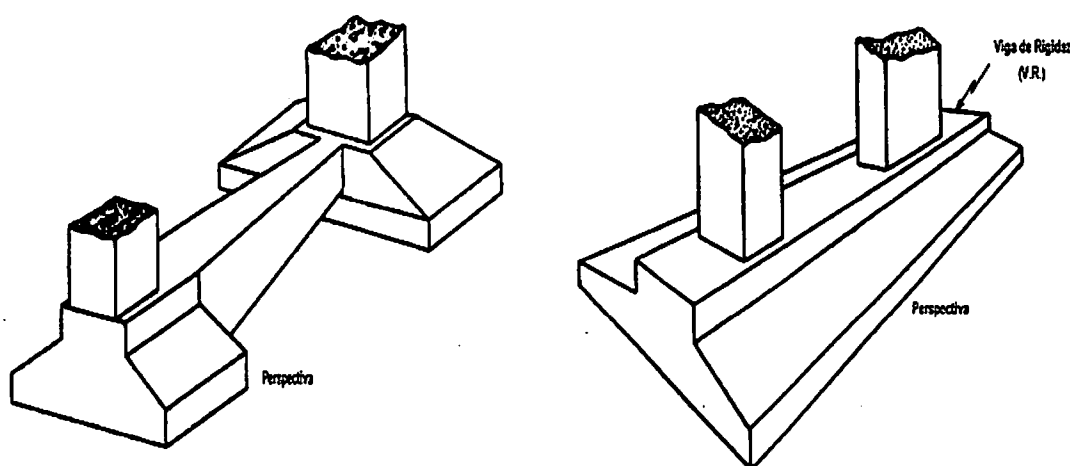


Figura 2.13 – Sapatas Associadas

Fonte: Brito (1987)

“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, de modo que um pilar absorva o momento resultante da excentricidade da posição do outro pilar” (BRITO, 1987).

- Radier

De acordo com a NBR 6122/2010, Radier é uma fundação superficial que abrange todos os pilares de uma determinada obra ao mesmo tempo.

Velloso; Lopes (2011) radier é elemento de fundação superficial que recebe parte ou todos os pilares de uma estrutura.

Alonso (1979) diz que radier é um elemento de fundação superficial que abrange parte ou todos os pilares de uma estrutura, distribuindo os carregamentos. (Figura 2.14).

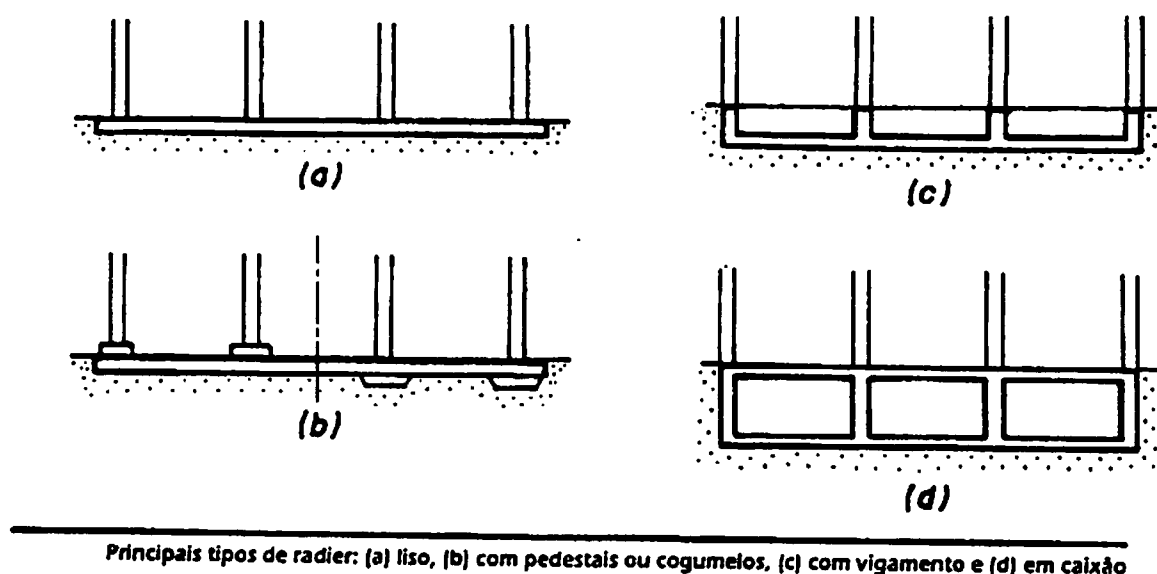


Figura 2.14 – Principais tipos de radier

Fonte: Brito (1987)

2.2.2.2 Fundação Profunda (Indiretas)

Fundações indiretas são aquelas que transferem as cargas por efeito de atrito lateral do elemento com o solo e por efeito de ponta. As fundações indiretas são todas profundas, devido às dimensões das peças estruturais (BRITO, 1987; FABIANI, 1987).

Segundo a NBR 6122/2010, define-se como fundação profunda aquela que transmite a carga proveniente da superestrutura ao terreno pela base (resistência de ponta), por

sua superfície lateral (resistência de fuste), ou pela combinação das duas. Além disto, segundo esta referida norma, nas fundações profundas a profundidade de assentamento deve ser maior que o dobro da menor dimensão em planta do elemento de fundação, conforme esquematicamente mostrado na Figura 2.15.

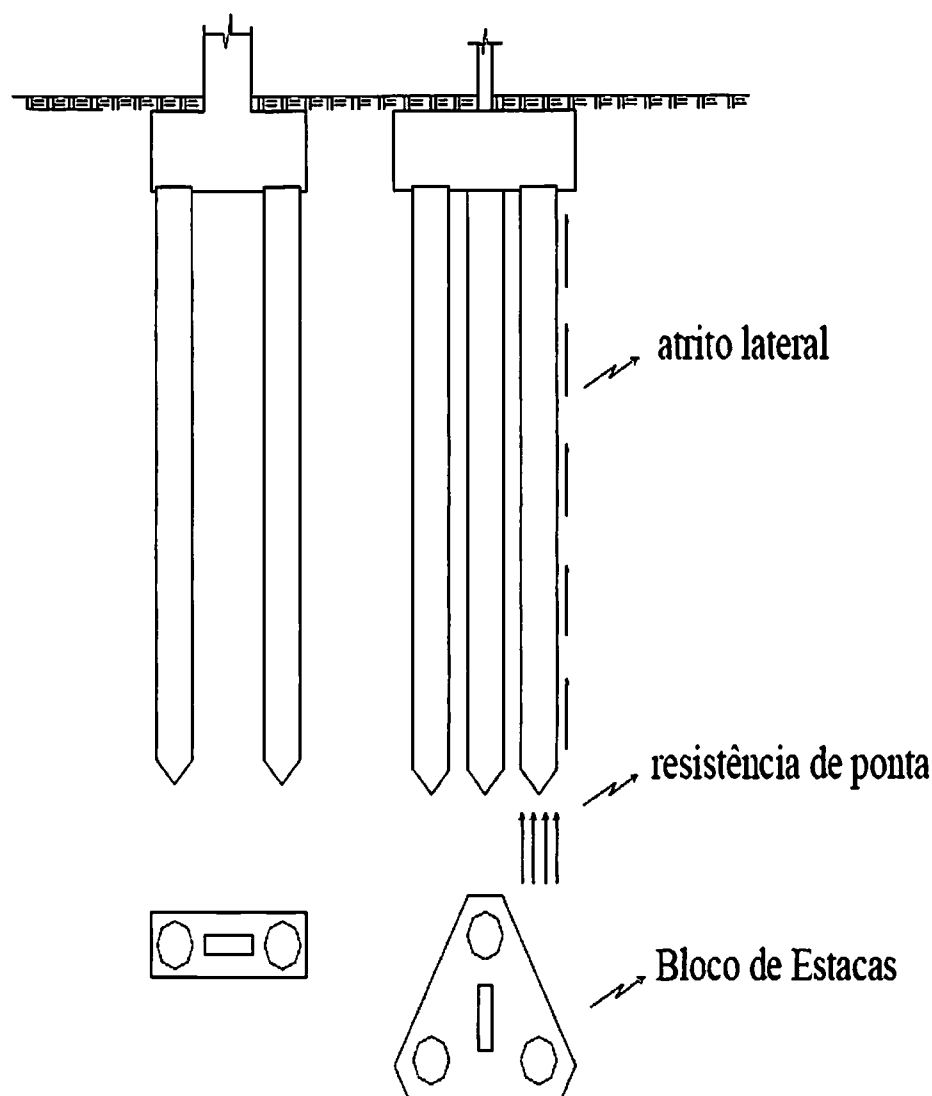


Figura 2.15 – Fundação Profunda

Fonte: Alonso (1979)

Elemento de fundação profunda executado inteiramente por equipamentos ou ferramentas, sem que, em qualquer fase de sua execução, haja descida de pessoas. Os materiais empregados podem ser: madeira, aço, concreto pré-moldado, concreto moldado in loco ou pela combinação dos anteriores. (VELLOSO; LOPES, 2011).

De acordo com a NBR 6122/2010, se enquadram na definição de fundação profunda os seguintes elementos:

- *Estacas*

NBR 6122/2010, estacas são elementos de fundação profunda executado com o auxílio de ferramentas ou equipamentos sem que haja descida de operário em qualquer fase de execução (cravação a percussão, prensagem, vibração, ou por escavação, etc), podendo ser constituído de madeira, aço, concreto, etc;

Estacas são fundações constituídas de elementos longos e delgados que transmitem as cargas estruturais a grandes profundidades (OLIVEIRA FILHO, 1988).

Velloso; Lopes (2011) estaca é um elemento de fundação profunda executada com auxílio de ferramentas ou equipamentos, execução essa que pode ser por cravação a percussão, prensagem, vibração ou por escavação, ou, ainda, de forma mista, envolvendo mais de um destes processos.

BORGES (1985), diz que a função de uma estaca é transmitir a carga do pilar conjuntamente com alguma reação de momento na base, para um extrato com capacidade portante adequada. Isso é conseguido por estacas de ação de pontas, atrito ao longo da sua área lateral, ou pela combinação de ambos.

Alonso (1979) descreve que as estacas são consideradas como elementos estruturais que podem ser armadas ou não. E ainda são dimensionadas para suportar cargas verticais, horizontais e inclinadas. Portanto, elas podem ser:

- *Estaca Cravada por Percussão*

Velloso; Lopes (2011) dizem que estaca cravada por percussão é a própria estaca ou um molde é introduzido no terreno por golpes de martelo (de gravidade, de explosão, hidráulico ou martelo vibratório). Dizem ainda que elas são: estaca pré-moldada de concreto; estaca de madeira ou de aço. (Figura 2.16).

Aço: Metálica ou Aço – estaca cravada, constituída de elemento estrutural produzido industrialmente, podendo ser de perfis laminados ou soldados, simples ou múltiplos, tubos de chapa dobrada ou calandrada, tubos com ou sem costura e trilhos. Material com excelente qualidade e grande resistência estrutural, apesar de suas dimensões relativamente pequenas; Facilidade de manipulação devido ao pequeno peso das peças; Otimização das perdas devido à inexistência de quebras e viabilidade de se emendar as sobras (VELLOSO; LOPES, 2011).

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. (ALONSO, 1979)

Concreto - estaca constituída de segmentos de concreto pré-moldado, armado ou protendido, vibrado ou centrifugado com qualquer forma geométrica de seção transversal, devendo apresentar resistência compatível com os esforços de projeto e decorrentes do transporte, manuseio, cravação e eventuais solos agressivos: Duráveis e concreto de qualidade constante; Perdas com as sobras; Perigo de avarias durante transporte e cravação (VELLOSO; LOPES, 2011).

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

Madeira - Utilizada normalmente no Brasil em obras provisórias; Fáceis de obter; Tipo da madeira deve ser durável e ter resistência ao choque; Devem ficar sempre submersas, caso contrário apodrecem; Deve-se tomar cuidado com a cabeça de cravação e com a cravação; em terrenos muito rijos ou com pedregulhos (VELLOSO; LOPES, 2011).

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

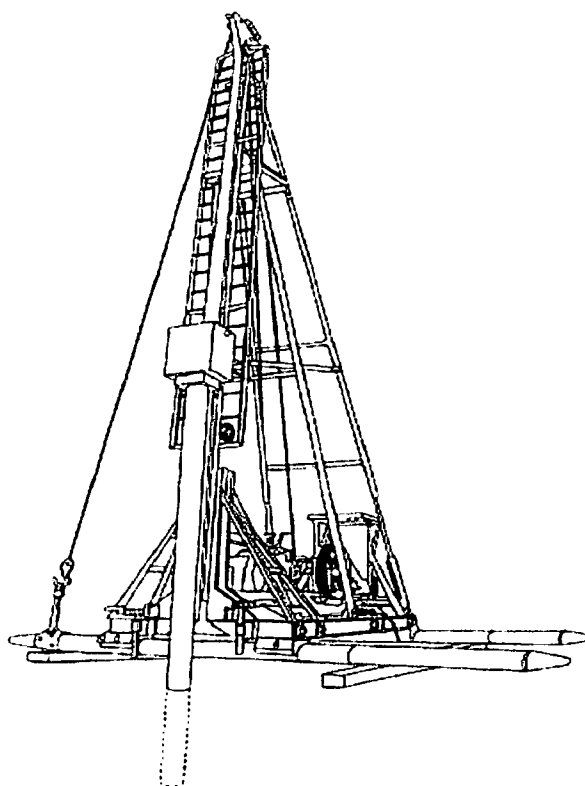


Figura 2.16 – Equipamento para cravação das estacas pré-moldadas de concreto

Fonte: Alonso (1979)

○ *Estaca de Reação (mega ou prensada)*

Estacas Mega ou prensada 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).

Mega Estaca ou prensada para Velloso; Lopes (2011) é aquela introduzida no terreno por meio de macaco hidráulico reagindo contra uma estrutura já existente ou criada especificamente para esta finalidade. No entanto, ela é utilizada como reforço de fundação ou como fundação normal quando há necessidade de evitar vibrações, choques, entre outras e ainda é cravada com uma carga 1,5 vezes a de trabalho.

Constâncio (2013) descreve que estaca mega ou prensada são conhecidas também como estacas de reação, sua utilização é feita para reforçar fundações e também em locais onde não podemos admitir vibrações. São segmentos curtos, cravados um após o outro,

justaposto por meio de um macaco hidráulico que reage contra um peso que pode ser a própria estrutura a ser reforçada. Figura 2.17.

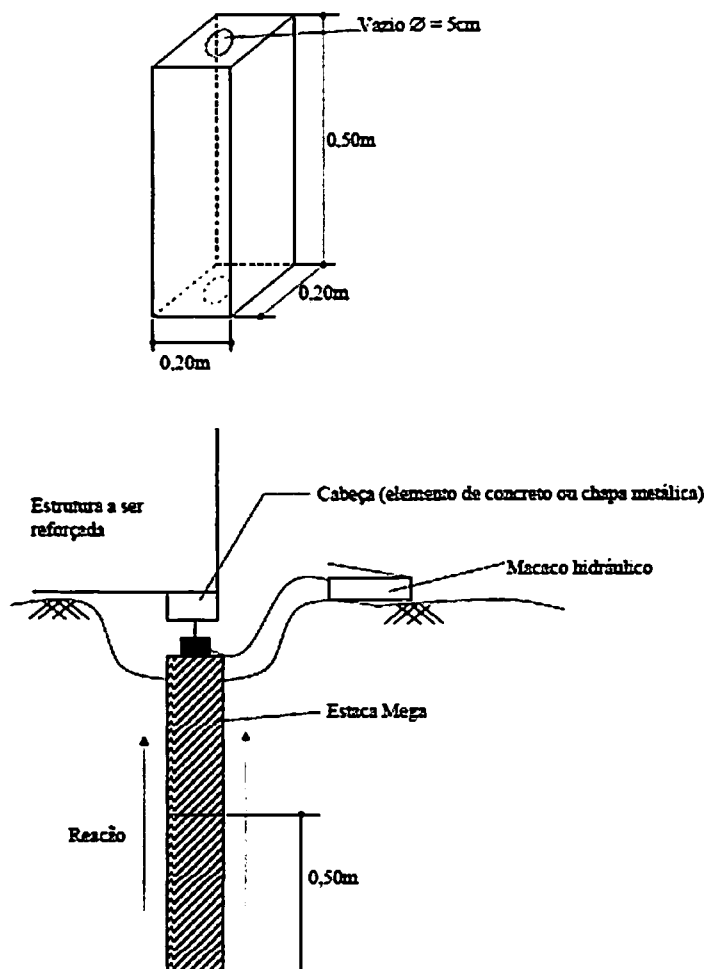


Figura 2.17 – Estaca Mega

Fonte: CONSTÂNCIO (2013)

○ *Estaca Tipo Strauss*

Estaca executada por perfuração do solo com uma sonda ou piteira e revestimento total com camisa metálica, realizando -se o lançamento do concreto e retirada gradativa do revestimento com simultâneo apiloamento do concreto (VELLOSO; LOPES, 2011).

Para Constâncio (2013) *Tipo Strauss* são estacas moldadas *in loco*, executadas com revestimento metálico recuperável, de ponta aberta, para permitir a escavação do solo. Podem ser em concreto simples ou armado. Como são estacas muito utilizadas no mercado da

Construção Civil estamos colocando abaixo as características das mesmas, sugeridas pela APEMOL (Associação Paulista de Empresas Executoras de Estacas Moldadas no Local, do Sistema Strauss – 1979). Para tanto, As estacas Strauss estão disponíveis no mercado com cargas e características técnicas seguintes:

CAPACIDADE DE CARGA (t)	DIÂMETRO NOMINAL (cm)	DIÂMETRO INTERNO DA TUBULAÇÃO (cm)	DISTANCIA MÍNIMA DO EIXO DA ESTACA A DIVISA (cm)
20	25	20	15
30	32	25	20
40	38	30	25
60	45	38	30
90	55	48	35

Tabela 2.1 – Cargas e Características Técnicas

Fonte: CONSTÂNCIO (2013)

As estacas Strauss apresentam vantagem pela leveza e simplicidade do equipamento que emprega. Com isso, pode ser utilizada em locais confinados, em terrenos acidentados ou ainda no interior de construções existentes, com pé direito reduzido. O processo não causa vibrações, o que é de muita importância em obras que as edificações vizinhas, dada a natureza do subsolo e de suas próprias deficiências, sofreriam danos sérios com essas vibrações (CONSTÂNCIO, 2013).

o *Estaca Tipo Franki*

Para Velloso; Lopes (2011) a estaca tipo Franki é caracterizada por possuir uma base alargada, obtida introduzindo-se no terreno certa quantidade de material granular ou concreto, por meio de golpes de um pilão. Quanto ao fuste, ele pode ser moldado no terreno com revestimento perdido ou não, ou ser constituído por um elemento pré-moldado.

Maia, *et. al.* (2006) a estaca de Franki é uma estaca de concreta armada moldada no solo, que usam um tubo de revestimento cravado dinamicamente com ponta fechada por meio de bucha e recuperada a ser concretado a estaca. Na execução de uma estaca Franki pode-se destacar as seguintes fases: cravação do tubo Franki; execução da base alargada; colocação da armadura e execução da concretagem do fuste com a extração do tubo Franki, veja a figura 2.18.

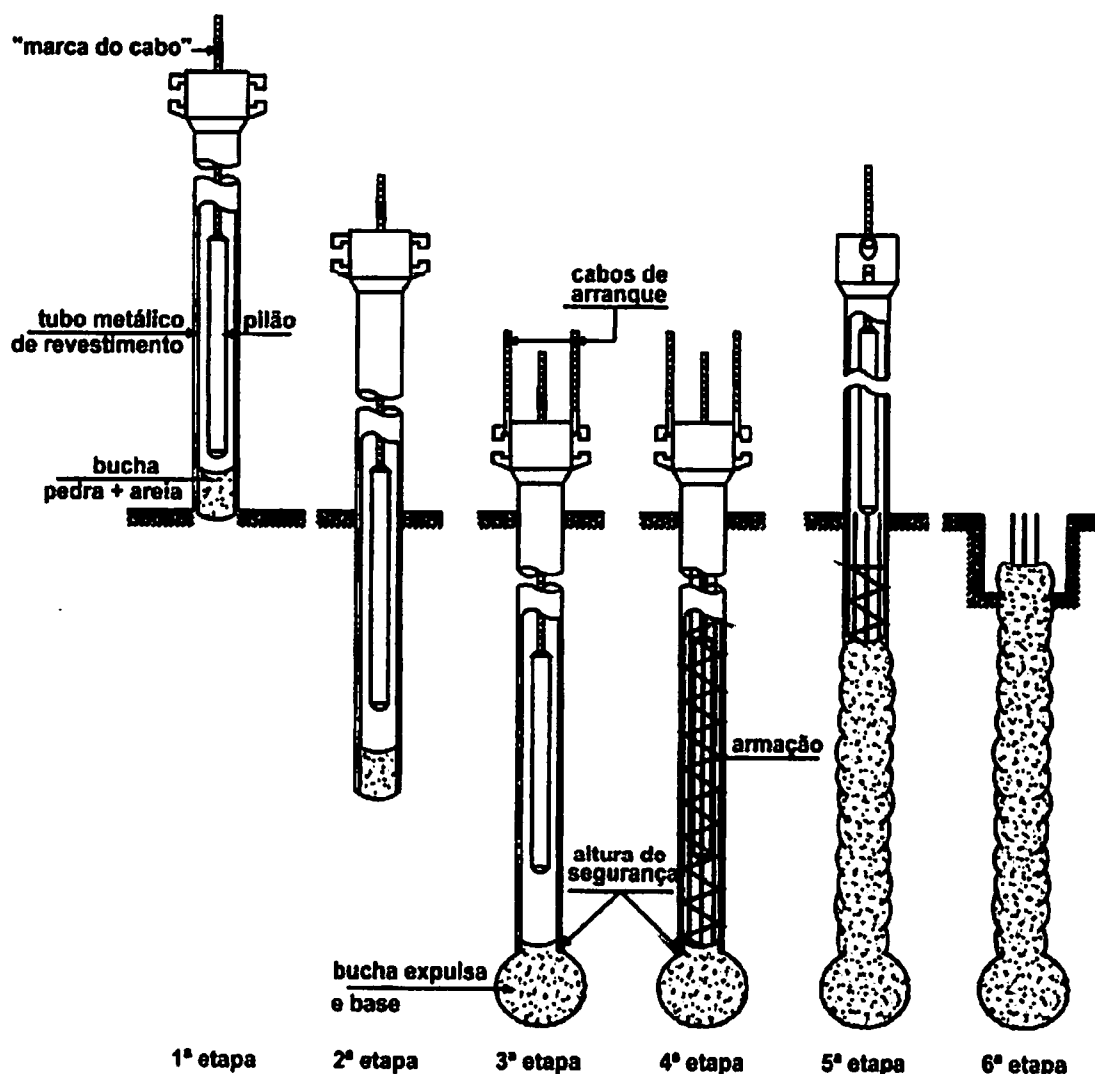


Figura 2.18 – Sequência executiva da execução de uma estaca tipo Franki

Fonte: Velloso; Lopes (2011)

○ Estaca Broca

Para Oliveira Filho (1988) as brocas são estacas de pequeno diâmetro (25 a 30 cm), executadas manualmente com perfuração a trado e posteriormente concretada, para cargas de 5 a 8t. A concretagem é simples com concreto jogado de cima e socamento manual, deixando-se pontas de ferro espetadas na parte superior.

Executada por perfuração com trado manual entre 20 e 40 cm de diâmetro e posterior concretagem. Utilizada em pequenas construções e empregada em situações em que a base fica acima do lençol freático ou em que se possa seguramente secar o furo antes da concretagem (VELLOSO; LOPES, 2011).

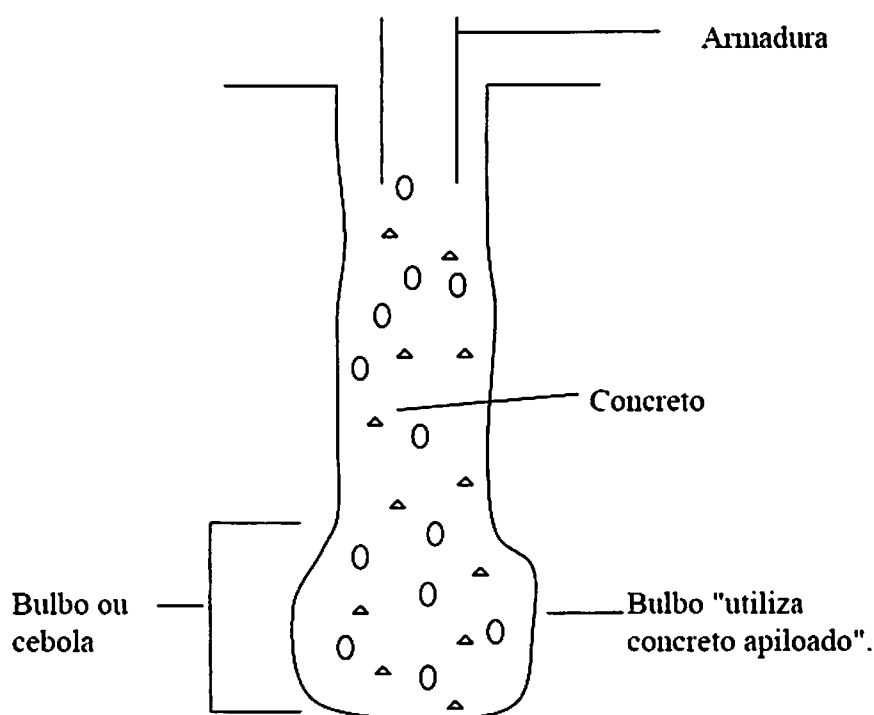


Figura 2.19 – Estaca Broca

Fonte: Constâncio (2013)

Constâncio (2013) são executadas com o auxílio de um trado manual do tipo espiral ou cavadeira, em solos coesivos e sempre acima do N.A (Figura 2.19).

Diâmetros: 6" = 15 cm □ 5 Ton

8" = 25 cm □ 10 Ton

Comprimentos: 5.0 a 6.0 metros.

O autor aponta como desvantagens: Concreto feito a mão (baixa qualidade); Material de escavação mistura com o concreto; Só pode ser executada em solos coesivos e Só pode ser executada acima do N.A. mas, por outro lado as vantagens são: Elimina transporte de equipamento; Facilidade de execução e Baixo Custo.

○ *Estaca Escavada com Trado Mecânico, sem Fluido Estabilizante*

Estacas Escavadas com Trado Mecanizado são moldadas *in loco*, por meio da concretagem de um furo executado por trado helicoidal, sendo empregadas onde o solo se mantém estável sem necessidade de revestimento ou de fluido estabilizante. A profundidade é limitada ao nível do lençol freático. A perfuração é feita por perfuratriz rotativa montada sobre uma "mesa rotativa" que impõe giro a um tubo telescópico. A ponta deste tubo é

munida de um trado helicoidal com aproximadamente 1 metro de comprimento que penetra e perfura o solo com diâmetros que variam entre 25 cm e 170 cm, até 27 metros de profundidade. (MAIA, *et al.*, 2006); (VELLOSO; LOPES, 2011); (VENÂNCIO, 2013) (Figura 2.20).



Figura 2.20 – Equipamento de Estaca Escavada
Fonte: PRADO; FARIA; VAZ, (2001)

○ *Estaca Escavada com Injeção ou Microestacas*

A microestaca é uma estaca moldada in loco, executada através de perfuração rotativa com tubos metálicos (revesti mento) ou roto percussiva por dentro dos tubos, no caso de matação ou rocha. Esta estaca é armada e injetada, com calda de cimento ou argamassa, através de tubo manchete, visando aumentar a resistência do atrito lateral. Elas são executadas mediante a tecnologia de tirantes injetados em múltiplos estágios com o auxílio de um tubo-manchete de válvulas múltiplas, que impedem o retorno da calda de cimento. Na injeção da bainha e posterior injeção de cimento em cada estágio de abertura das válvulas ou manchetes, são usadas altas pressões (normalmente de 1 a 3 MPa). Deve-se cuidar para não confundir as microestacas (presso ancoragens) com as estacas raiz. Esta última é feita mediante injeção de ar comprimido sobre a argamassa com baixas 35 pressões, enquanto as microestacas são executadas através de injeções de calda de cimento com pressões elevadas, em que no tubo-manchete há refluxo ou retorno de calda sob pressão, durante a execução. (PRESA;

POUSADA, 2001); (MAIA, *et. al.*, 2006); (VELLOSO; LOPES, 2011); (VENÂNCIO, 2013) (Figura 2.21).



Figura 2.21 – Microestacas
Fonte: PRADO; FARIA; VAZ, (2001)

○ *Estaca Raiz*

A Estaca Raiz é uma estaca armada e concretada com argamassa de cimento e areia, moldada "*in loco*" executada através de perfuração rotativa ou roto-percussiva (Figura 2.22), revestida integralmente por meio de tubo metálico (tubo revestido) que garante a estabilidade da perfuração. A perfuração em solo é executada por meio de perfuratriz rotativa ou roto percussiva que desce o revestimento através de rotação com o uso de circulação direta de água injetada no seu interior (ABMS; ABEF, 2004); (VELLOSO; LOPES, 2011); (VENÂNCIO, 2013).



Figura 2.22 – Fase executiva da Estaca Raiz

Fonte: F.X. Fundações (2013)

○ *Estaca Hélice Contínua Monitorada*

Estacas Hélice Contínua Monitoradas (figura 2.23) é um tipo de fundação escavada de concreto, moldada *in loco*, no qual a estaca é escavada até o seu fim em um processo contínuo, usando um trado em formato de hélice aspiral. Enquanto o trado é penetrado no terreno, as espirais do trado são preenchidas com este solo, o que providencia suporte lateral e estabilidade do furo. Ela constituída por concreto, moldada *in loco*, executada por meio de trado contínuo com comprimento variando entre 17 e 30 metros e injeção de concreto pela própria haste do trado. Possui grande velocidade de execução e ausência de vibrações e ruídos excessivos. Seu principal problema é a impossibilidade de controle de arrasamento das estacas e perdas excessivas de concreto que giram em torno de 20%. (MAIA, *et. al.*; 2006); (VELLOSO; LOPES, 2011); (VENÂNCIO, 2013)

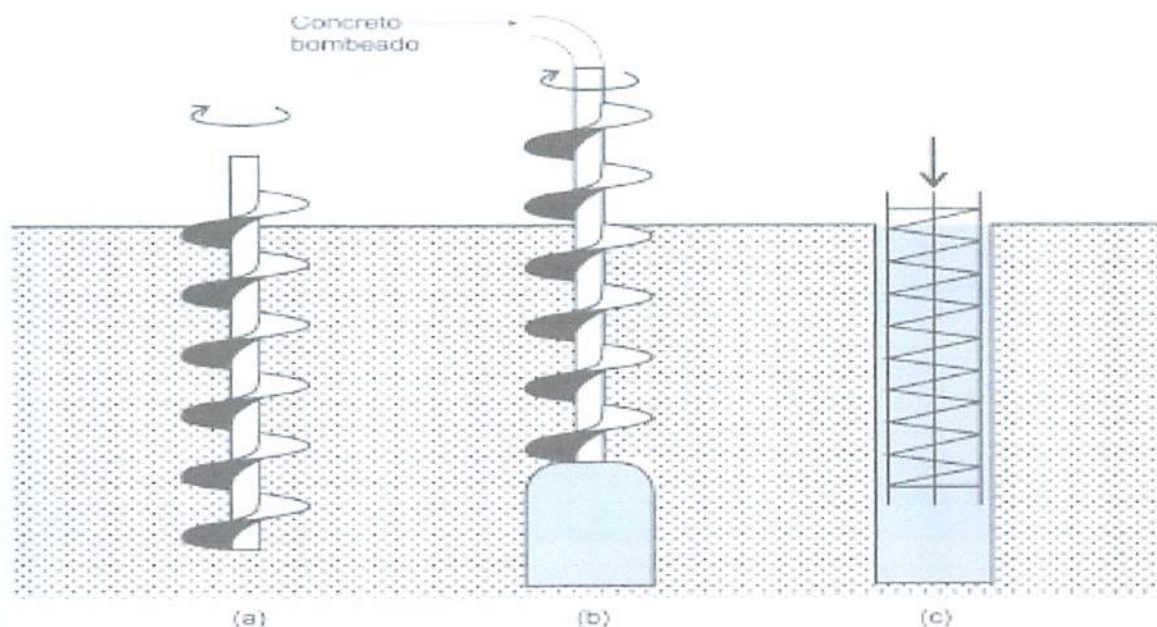


Figura 2.23 – Execução de Estaca Hélice Contínua Monitorada

Fonte: Velloso; Lopes (2011)

○ *Estaca Hélice de Deslocamento Monitorada*

É uma estaca de deslocamento (figura 2.24), de concreto moldado in loco, mediante a introdução no terreno, por rotação, de um trado com características tais que ocasionem um deslocamento do solo junto ao fuste e à ponta, não havendo retirada de solo. A injeção de concreto é feita pelo interior do tubo central. Devido à grande resistência desenvolvida durante a perfuração, o equipamento deve ter um torque compatível com o diâmetro da estacas e características do terreno, sendo de no mínimo de 200 kNm. O equipamento de escavação deve ser posicionado e nivelado para assegurar a centralização e verticalidade da estaca. O diâmetro do trado deve ser verificado para assegurar as premissas de projeto. A haste é dotada de ponta fechada por uma tampa metálica recuperável ou não. A perfuração se dá de forma contínua por rotação, até a cota prevista em projeto. O concreto é bombeado pelo interior da haste com sua simultânea retirada por rotação. A pressão do concreto deve ser sempre positiva para evitar a interrupção do fuste e é controlada pelo operador durante toda a concretagem.

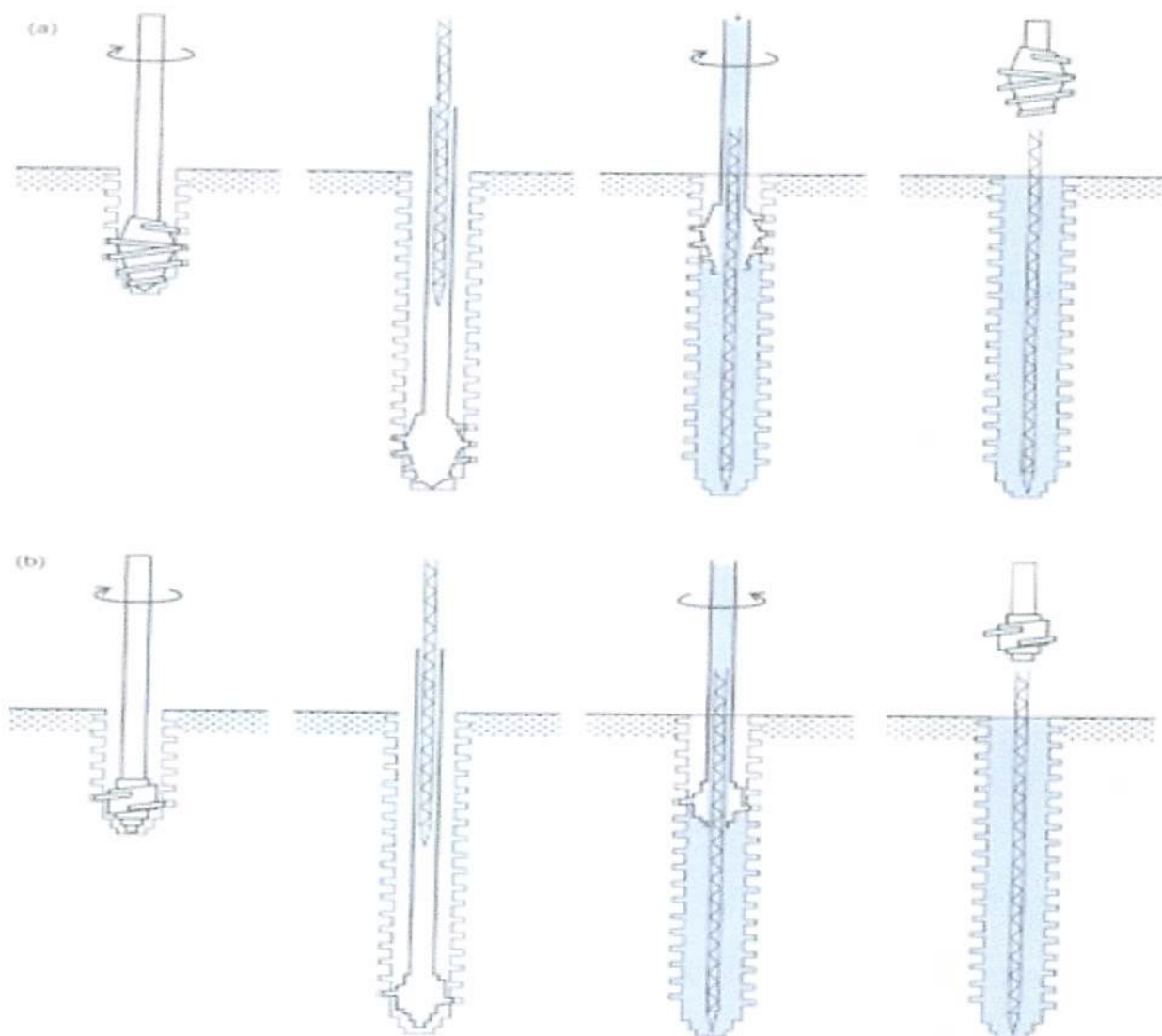


Figura 2.24 – Execução de Estaca Hélice de Deslocamento Monitorada

Fonte: Velloso; Lopes (2011)

- Tubulão:

O tubulão é um tipo de fundação profunda de concreto (Figura 2.25). Porém, diferentemente da estaca que mantém sua dimensão ao longo de todo seu comprimento, no tubulão a base é alargada, isto é, o diâmetro da base é maior que o diâmetro do fuste. (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2005).

Tubulão é considerado um elemento de fundação profunda, escavado no terreno em que, pelo menos na sua etapa final, há descida de pessoas, que se faz necessária para executar o alargamento de base ou pelo menos a limpeza do fundo da escavação, uma vez que neste tipo de fundação as cargas são transmitidas preponderantemente pela ponta. Ele pode ser a céu aberto são executados com a abertura (manual ou mecânica) de um poço até que seja atingido um solo de boa qualidade. Após a abertura do poço executa-se o alargamento da base

objetivando-se a distribuição das cargas de maneira uniforme no terreno de apoio. (BRITO, 1987); (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2005).

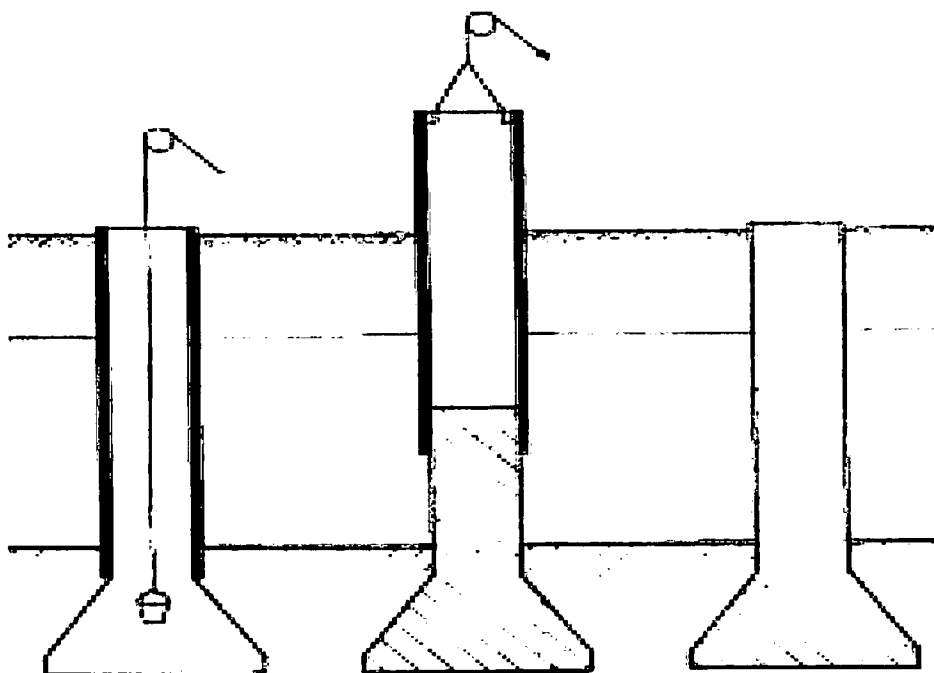


Figura 2. 25 – Tubulão a céu aberto

Fonte: BRITO (1987).

O tubulão pode ser ainda a ar comprimido, uma vez que este tipo de fundação é utilizado quando existe água, exige-se grandes profundidades e existe o perigo de desmoronamento das paredes. (BRITO, 1987) Figura 2.26.

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. Ou seja, é utilizado em locais em que a presença de água impossibilitaria a execução tradicional. Antes do alargamento da base, instala-se um compartimento em torno da fundação. (BRITO, 1987); (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2005).

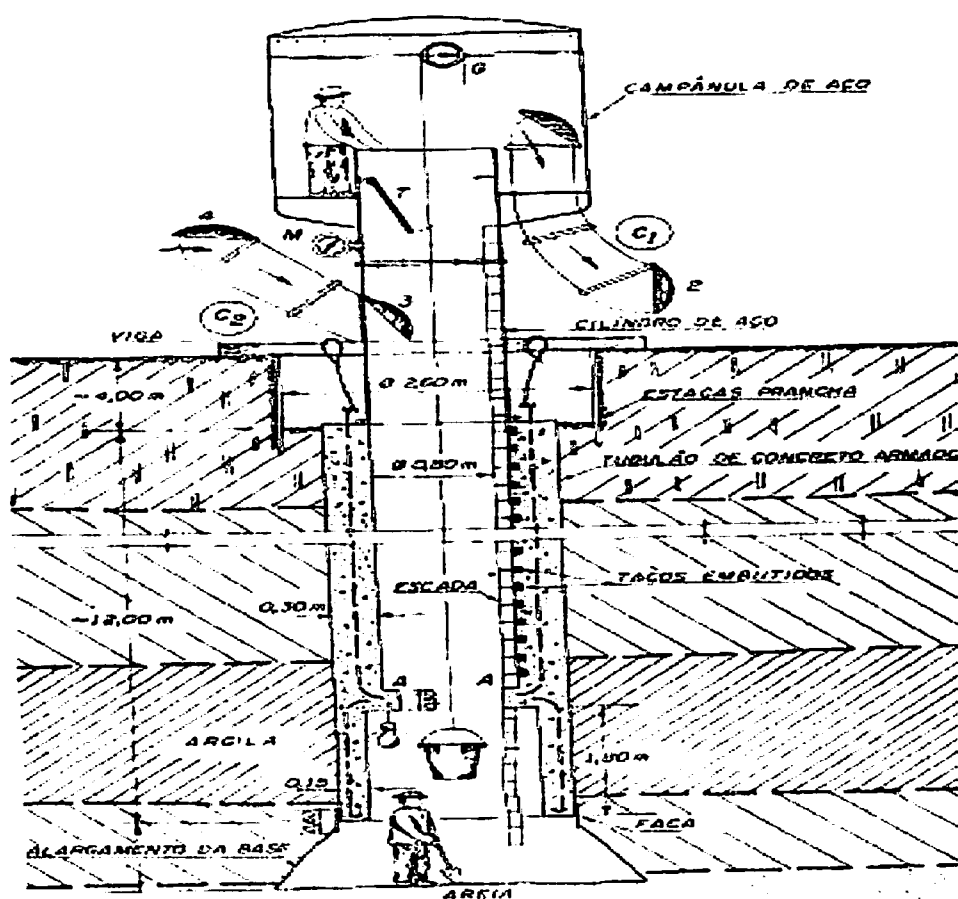


Figura 2.26 – Tubulão a ar comprimido

Fonte: BRITO (1987).

É sempre interessante a abertura de um poço de pesquisa para se verificar sua viabilidade técnica e financeira de execução.

- Caixões

Elemento de fundação de forma prismática, concretado na superfície do terreno, e instalado por escavação interna, podendo-se ainda na sua instalação usar, ou não, ar comprimido, e ter, ou não, a sua base alargada. Elemento de fundação profunda de forma prismática, concretado na superfície e instalado por escavação interna. Na sua instalação pode-se usar ou não ar comprimido e sua base pode ser alargada ou não. (BRITO, 1987); (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2005); (NBR 6122/2010). (Figura 2.27).

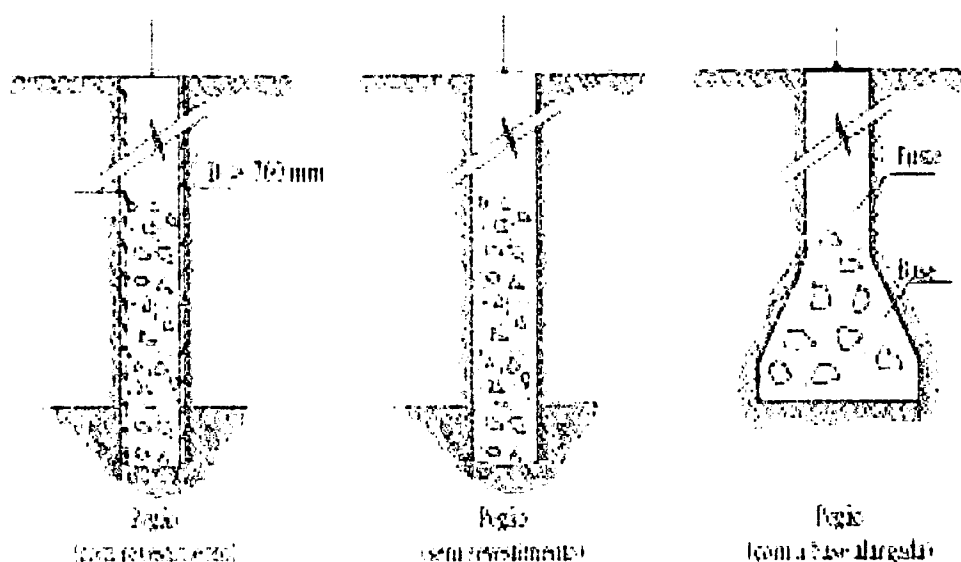


Figura 2.27 - Caixões

Fonte: Azevedo (2013)

As fundações profundas apresentam peculiaridades que as tornam diferentes dos demais elementos das edificações. A elaboração do projeto está diretamente relacionada às características de execução de cada sistema de fundações profundas, deixando de envolver apenas a adoção de perfil típico de solo e a análise, através de teoria ou métodos específicos de cálculo (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2005).

2.3 Reforço de Fundações

Chama-se de fundação a parte de uma estrutura que transmite ao terreno subjacente a carga da obra. Elas são os elementos estruturais destinados a transmitir ao terreno as cargas de uma estrutura. Portanto, sua função é garantir que a transferência de cargas da superestrutura para o terreno de fundação ocorra de forma satisfatória. Há a necessidade de compatibilizar o elemento de fundação com as propriedades mecânicas do terreno de fundação. (CAPUTO, 1977); (GUSMÃO, 2002).

Segundo Gusmão (2002), em geral, no custo de uma obra de construção civil, o item fundação não é o mais oneroso, contribuindo com uma parcela de 3% a 7% do total do empreendimento. No entanto, erros nas fases de projeto ou execução podem acarretar na necessidade de reforço ou recuperação estrutural, cujo custo é de uma ordem de grandeza bem maior.

O serviço de reforço de fundação consiste numa intervenção no sistema solo-fundação estrutura existente, objetivando modificar seu desempenho. Este tipo de intervenção

se faz necessário quando as fundações existentes se mostrem inadequadas para suportar as cargas atuantes ou em caso de incremento deste carregamento, que não puder ser absorvido sem riscos e reduções consideráveis nos coeficientes de segurança (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2005).

Barros (2013) descreve que os serviços de reforço de fundações podem ser classificados em:

- Reforço permanente.
- Reforço.
- Substituição de fundações - decorre da necessidade de modificação da fundação.
- Não ocorre o reforço das peças pré-existentes, mas sim sua completa substituição por outras, sem obrigatoriedade de serem do mesmo tipo.
- Escoramentos auxiliares para execução de reforços - são utilizados sempre que há a necessidade de redução ou retirada, em caráter provisório, do carregamento das fundações existentes, permitindo a realização dos serviços de reforço ou substituição dos elementos de fundação.

Para Hachich (et al.2001), as soluções para o reforço são muito variadas e dependem dos condicionantes do problema em questão, como por exemplo, o tipo de solo, urgência, fundações existentes, nível de carregamento e espaço físico disponível.

2.3.1 Recalque

Segundo a antiga norma brasileira de projeto e execução de fundações, NBR 6122 (ABNT, 2010), recalque é definido como sendo o movimento vertical descendente realizado pelas fundações devido ao processo de interação solo-estrutura. O movimento ascendente das fundações é denominado de levantamento.

Quando se aplicam tensões no maciço de um solo, ocorrem deformações cisalhantes ou de distorção que causam deslocamentos verticais da fundação, esses deslocamentos são conhecidos como recalques imediatos ou secundários. É comum observarmos construções que sofrem desta patologia, a mais famosa de todas é a Torre de Pisa, localizada na Itália, figura 2.28. (TEIXEIRA, 1998); (GODOY, 1998); (ALONSO, 1979).

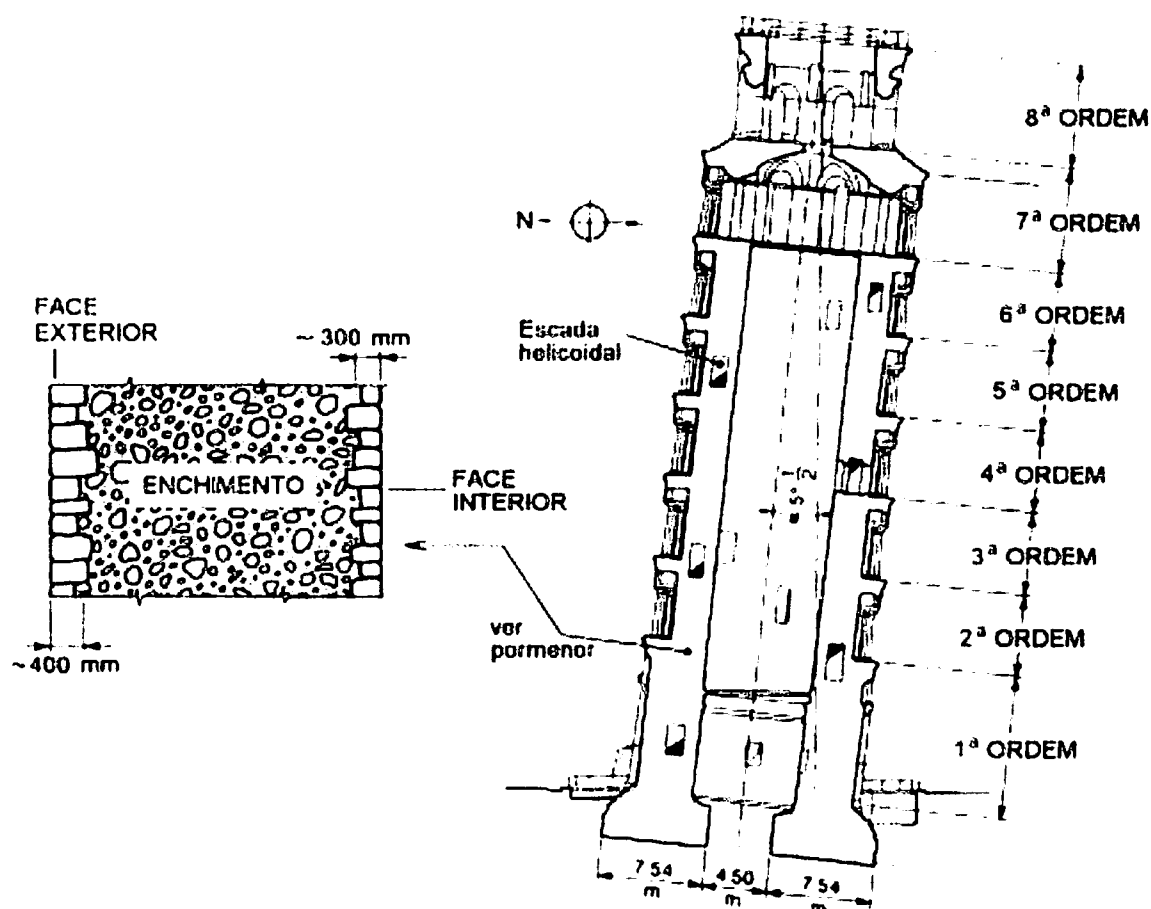


Figura 2.28 – Torre de Pisa

Fonte: AZEVEDO (2013)

Recalque é o movimento vertical que afeta a estrutura. Quando ele é muito pequeno, não comprometendo o desempenho da estrutura, ele é denominado recalque admissível. O solo é considerado ruim para fundação direta, os que apresentam taxa admissível, valores inferiores a $1,50\text{kg/cm}^2$. No entanto, pequenos recalque em estruturas hiperestáticas não exercem influências danosas. Para tanto, os autores afirmam que recalques uniformes não são prejudiciais à estabilidade das estruturas e não aconselha, de forma, o emprego de estruturas isostáticas. (BELLINA, *apud* MORAES, 1976); (BLEICH, *apud* MORAES, 1976)

Existem várias causas para a ocorrência de recalques. Em fundações, o recalque ocorre pelo método de construção, em particular a cravação das estacas. Este serviço apresenta vibrações que podem provocar danos às construções, provocados pela acomodação do solo. Pode até resultar na modificação do tipo de estaca. Estacas de menor diâmetro deslocam menos solo ao serem cravadas. (HACHICH, FALCONI, SAES, 2001)

Nos casos mais complexos, torna-se necessário a utilização de análises sofisticadas, que permitam estabelecer relação entre solo e estrutura, ao invés de simplesmente calcularmos os recalques de forma isolada e compará-los com valores empíricos. (MILITITSKY, 2005), (CONSOLI, 2005), (SCHNAID, 2005).

A segurança e funcionalidade das obras geotécnicas são previstas e avaliadas a partir da utilização de modelos de dimensionamento. Refere-se à base conceitual existente no dimensionamento pelo método dos estados limites, onde são necessários a identificação de todos esses possíveis estados limites, com suas verificações individuais, como também a demonstração de que a ocorrência deles é suficientemente improvável. (NEVES, 1994).

Para Gusmão Filho (2006) a medição de recalques é o método mais simples de instrumentação, e representa a solução para se acompanhar o desempenho de uma edificação, inclusive a interação solo-estrutura.

Segundo a NBR 6122 (2010), consiste na medição dos deslocamentos verticais de pontos da estrutura (pinos), normalmente localizados em pilares, em relação a um ponto fixo, denominado referência de nível (*bench-mark*). Esta referência de nível deve ser instalada de forma a não sofrer influência da própria obra ou outras causas que possam comprometer sua indeslocabilidade.

Deve ser feito o acompanhamento da velocidade de recalque durante certo tempo. A unidade utilizada é μ/dia . Em muitos casos o subsolo não é homogêneo e as cargas aplicadas pelas fundações diretas de uma estrutura podem variar amplamente. Como resultado, é razoável esperar uma variação no recalque em diferentes partes de uma construção (DAS, 1999).

Dessa forma, certos parâmetros (Figura 2.29) são definidos com a finalidade de quantificar movimentos e estabelecer valores limites ao bom desempenho das estruturas.

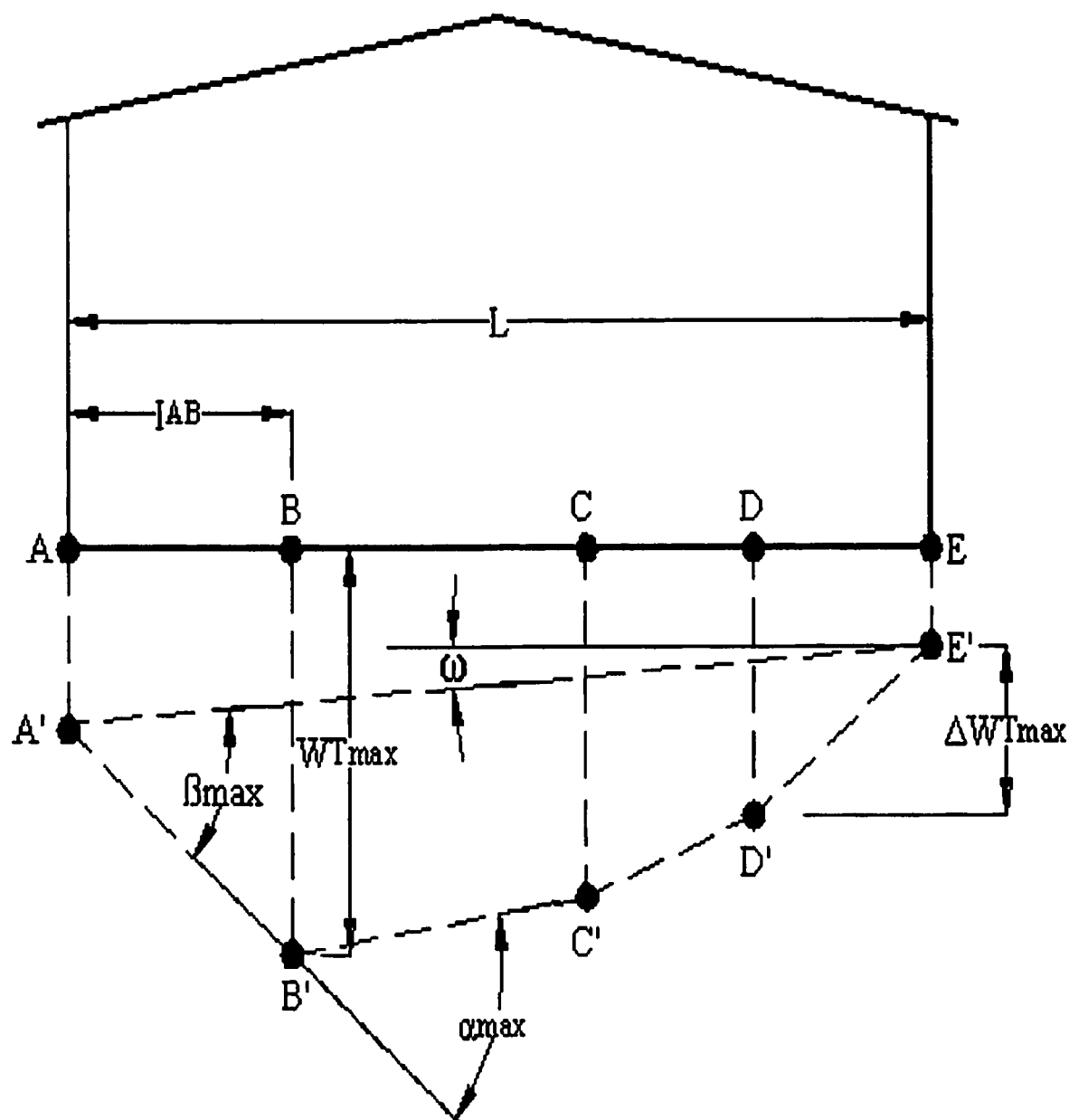


Figura 2.29 – Tipos de Movimentos

Fonte: BRANDI (2013)

Já segundo a nova norma brasileira de fundações NBR 6122 (ABNT, 2010) a movimentação das fundações é descrita conforme a Figura 2.30 a seguir.

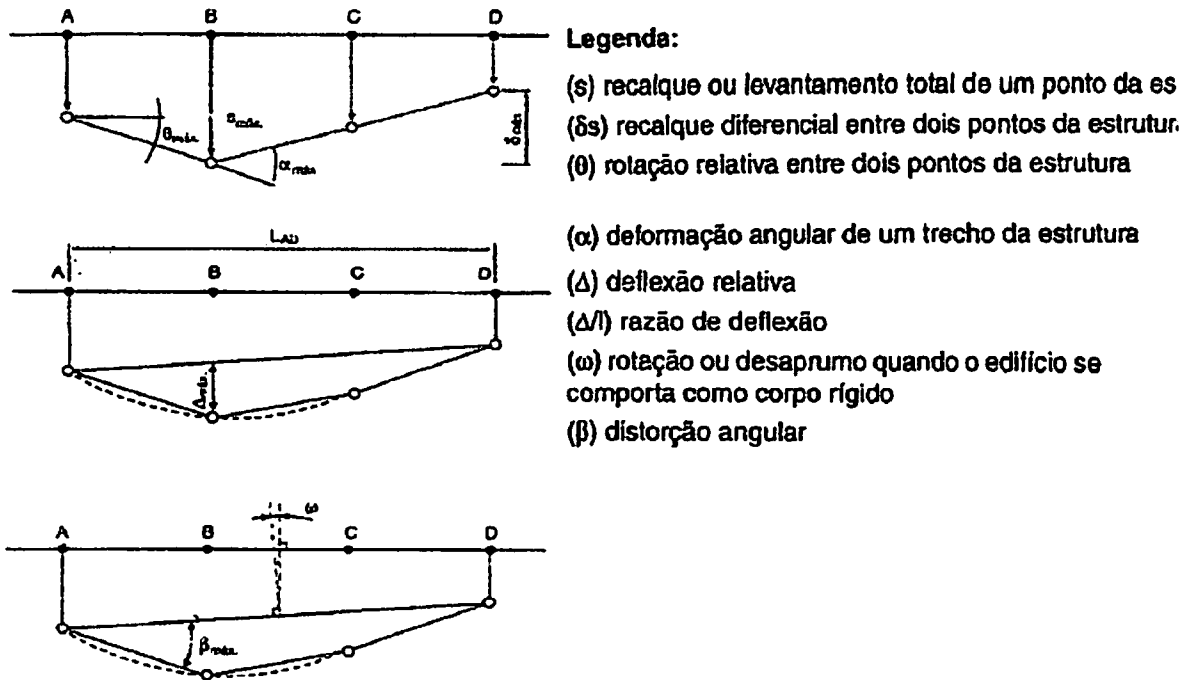


Figura 2.30 - Movimentação das Fundações Conforme NBR 6122 (ABNT, 2010)

Fonte: BRANDI (2013)

Durante a execução das estacas para o reforço das fundações, é fundamental efetuar o acompanhamento dos recalques. Portanto, a previsão de recalques é um dos exercícios mais difíceis da Geotecnia e que o resultado dos cálculos, por mais sofisticados que sejam, devem ser encarado como uma estimativa (VELLOSO; LOPES, 2011).

Pinto (2006), descreve que os recalques provenientes de um carregamento feito na superfície do terreno podem ser estimados pela teoria da: elasticidade – empregada para calculo das tensões no interior do solo devido a carregamento na superfície, pode ser utilizada para a determinação dos recalques; analogia edométrica – o calculo do recalque costuma ser expresso em função da variação do índice de vazios, aplica-se uma simples proporcionalidade. O recalque específico ou deformação, relação entre recalque e espessura da camada, é constante.

Em suma, as fundações recebem cargas da superestrutura, transmitindo-as ao solo de forma que não ocorram recalques excessivos. De acordo com o American Concrete Institute (ACI, 1993), a resposta da fundação é uma complexa interação entre a própria fundação, a superestrutura e o solo. Essa interação pode continuar por longo tempo, até que o equilíbrio final entre as cargas e as reações do solo seja estabelecido. (BORGES, 1885)

2.3.2 Soluções de reforço

Os reforços de fundação representam uma intervenção no sistema solo-fundação-estrutura existente, visando modificar seu desempenho. Tal intervenção se faz necessária nos casos em que as fundações existentes se mostrem inadequadas para o suporte das cargas atuantes ou, ainda, quando ocorrer um aumento no carregamento e, este novo valor, não puder ser absorvido sem riscos e reduções consideráveis nos coeficientes de segurança. (GOTLIEB, 1998).

Quando se fala de reforço de fundação existem dezenas de tipos de soluções que são usadas de acordo com características especiais de cada caso, que devem ser analisadas muito minuciosamente até chegar à solução ideal. Gotlieb (1998) relaciona alguns tipos de soluções em reforço de fundações:

- Reparo ou reforço dos materiais.
- Enrijecimento da estrutura.
- Aumento da área de apoio.
- Estacas prensadas
- Estacas injetadas
- Estacas Convencionais
- Sapatas, Tubulões, e Estacas adicionais.

Para Hachich (*et al.*, 2001), as soluções para o reforço são muito variadas e dependem dos condicionantes do problema em questão, como por exemplo, o tipo de solo, urgência, fundações existentes, nível de carregamento e espaço físico disponível.

Segundo Helene (2003), para a escolha de uma técnica de reforço, devem ser levados em conta os seguintes aspectos:

- O diagnóstico estrutural;
- Condicionantes arquitetônicas e operacionais;
- Requisitos estruturais (reforço ativo ou passivo);
- Custos;
- Prazos.

Segundo Gusmão Filho (2006) o reforço para ter êxito deve garantir a continuidade da ação estrutural e a transferência de carga entre os dois materiais em contato, ou entre a peça nova e a estrutura pré-existente (parafusos, encamisamento, protensão, etc).

Ao iniciar um reforço de fundação, é imperioso que se realize um Projeto de Reforço de Fundação, pois esse, é uma das ferramentas mais importantes para a reabilitação de uma fundação. Afinal, Hachich (et al., 2001) ressalta que a escolha decorre do diagnóstico obtido e da experiência e julgamento efetuado pela equipe técnica envolvida no planejamento. Foco do item a seguir.

2.3.3 Projeto de Reforço

“Projetar, uma estrutura significa estudar a associação de seus elementos e prepará-los pra suportar os diferentes esforços a que estão submetidos” (MORAES, 1976).

O reforço de fundação é necessário quando existe algum tipo de deficiência na fundação original e é necessário renovar ou aumentar a segurança da mesma. Vários fatores podem causar a falha de uma fundação. As razões mais comuns de necessidade de um reforço de fundação é a ausência, insuficiência ou má qualidade das investigações do solo do local da obra ou ainda a má interpretação dos resultados da investigação geotécnica antes do início da construção. Para que não haja necessidade de um reforço de fundação futuro, antes do início da obra é necessária a realização de uma investigação geotécnica do maciço do solo. (MORAES, 1976); (HACHICH, et. al. 2001); (GUSMÃO FILHO, 2006)

Para Milititsky *et al.*, (2005), a análise de um projeto de fundações ocorre a partir da determinação das solicitações ou cargas de projeto e da adoção de um modelo de subsolo, obtido após a investigação geotécnica. Essas informações são interpretadas à luz do conhecimento estabelecido sobre:

- O comportamento do solo sob carga: (MILITITSKY *et. al.*, 2005).
 - Adoção de um perfil de solo otimista, generalizando o perfil do solo sem estudar o real comportamento do solo, figura 2.31;

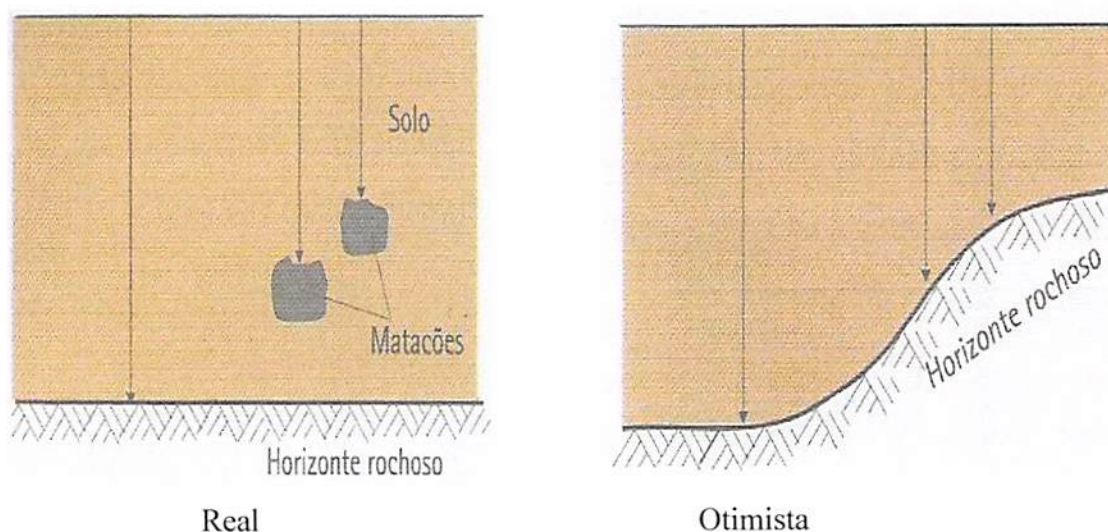


Figura 2.31 – Perfil de Solo: Real e Otimista

Fonte: MILITITSKY *et. al.*, (2005).

- Representação inadequada do comportamento do solo pelo uso de correlações empíricas ou semi-empíricas não aplicáveis à situação em questão;
- Uso indevido de resultados de ensaios para estimar as propriedades do solo não correlacionava ao tipo de solicitação, como a correlação entre ensaios de penetração;
- Adoção de fundações inadequadas face ao comportamento específico do solo;
- Remoção da crosta pré-adensada existente no topo de depósitos de argilas moles, para implantação de fundações superficiais.
- Transmissão de esforços à massa de solo: (MILITITSKY *et. al.*, 2005).
 - Quando uma fundação transfere carga ao solo e essa transferência é considerada de forma isolada sem levar em conta a presença de estruturas vizinhas temos o efeito de sobreposição de tensões na massa do solo;
 - Grupo de estacas apoiadas sobre camadas pouco espessas, sobrepostas a camadas de argilas moles, podem romper nos casos em que a análise de capacidade de suporte desconsidera a camada de solo mole abaixo da ponta das estacas;

- Estimativas de tensões admissíveis com base em resultados de placa, sendo essas extrapoladas para que grandes áreas carregadas como as bases de silos e tanques;
- Desconsideração do efeito de atrito negativo nas estacas, sendo que esse tipo de situação ocorre muito em horizontes com aterros recentes sobre solos moles, rebaixamento de lençol freático ou estaqueamento em solos moles sensíveis a escavação;
- Existência de aterro assimétrico sobre camadas superficiais de solos moles, provocando o aparecimento de solicitações horizontais atuantes nas estacas em profundidade;
- Uso de modelos simplificados indevidos;
- Falta de travamento em duas direções no topo de estacas isoladas e estacas esbeltas, veja figura 2.32;

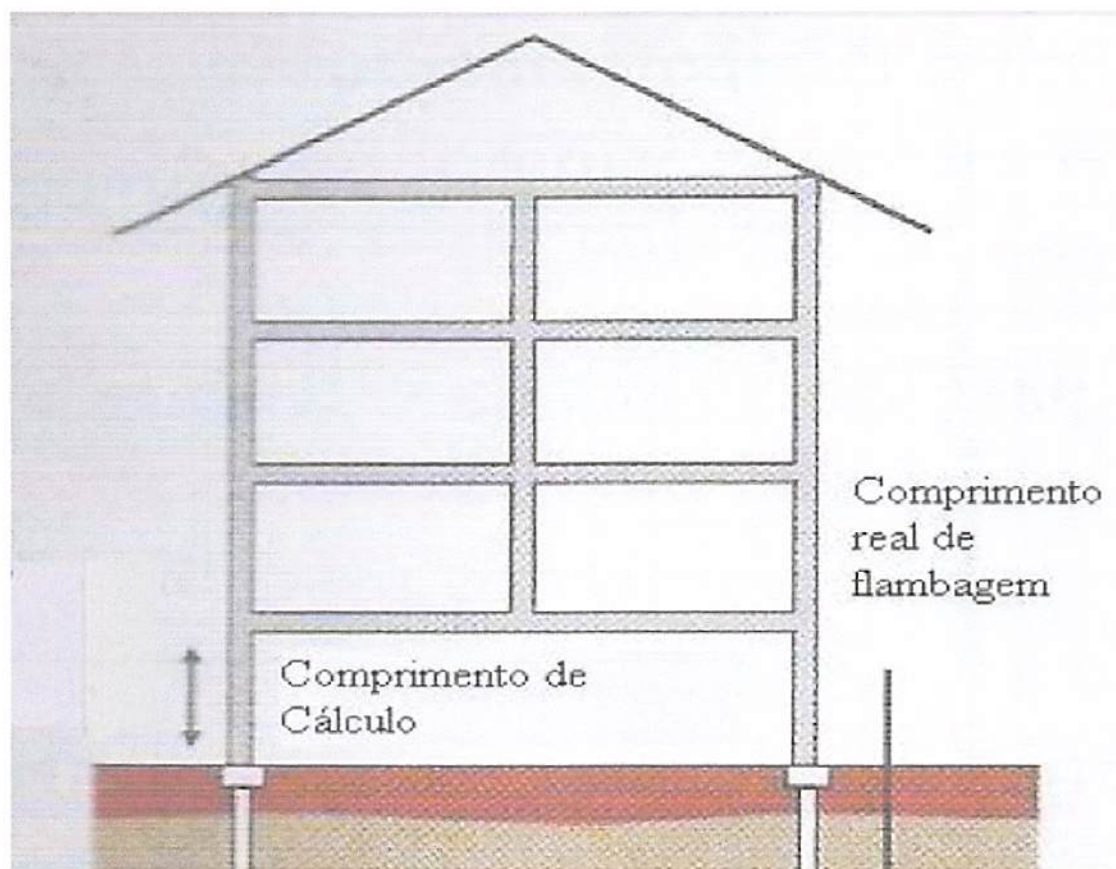


Figura 2.32 - Comprimento real de Calculo a ser Utilizado em Estacas muito Profundas

Fonte: MILITITSKY *et. al.*, (2005).

- Utilização de cargas de trabalho nominais sem verificação de flambagem de estacas muito esbeltas em solos moles, casos de trilhos e perfis simples. Nessas condições pode ocorrer o fenômeno de instabilidade de flambagem (figura 2.33).

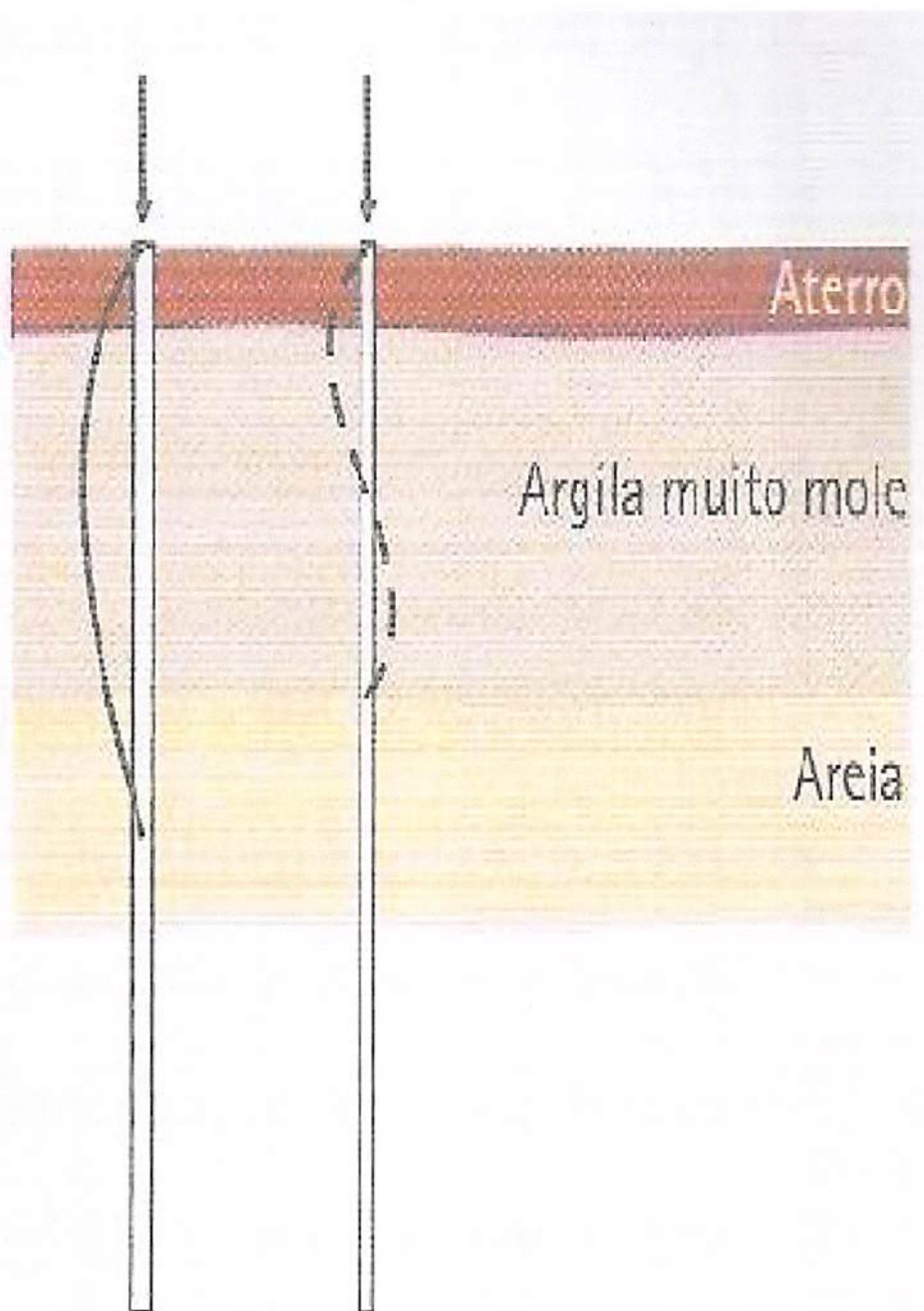


Figura 2.33 - Comportamento da Estaca de aço no solo, Flambando Devido ao Perfil de solo

Fonte: MILITITSKY *et. al.*, (2005).

O projeto de reforço segue, basicamente, três passos: Análise do estado atual do sistema solo-fundação-estrutura, visando o reforço das fundações; Levantamento dos processos geológicos e biológicos presentes no meio físico, que provocam ações mecânicas de força e deslocamento, mudando a funcionalidade e pondo em risco a segurança; Conhecimento dos problemas geotécnicos transmitidos em decorrência de atividades humanas, que alteram o equilíbrio do meio físico, repercutindo no desempenho da edificação. (HACHICH, et. al. 2001); (GUSMÃO FILHO, 2006)

Definida a solução de reforço a ser utilizada, devem ser tomados alguns cuidados visando obter a melhor resposta possível do reforço projetado: Garantia da continuidade da ação estrutural da peça reforçada; Garantia de transferência de carga entre as peças novas e as pré-existentes; Garantia de boa aderência entre os concretos antigos e novos através do uso de aditivos e resinas apropriados, além da dosagem indicada; Consideração de que há diferença de inércia no caso de reforços com estacas de tipo diferente do anterior, e que estariam atuando no mesmo bloco de apoio; Verificação do dimensionamento dos elementos estruturais como blocos, vigas alavanca e de equilíbrio, entre outras. (HACHICH, et. al. 2001); (GUSMÃO FILHO, 2006)

Existem inúmeras variantes para a escolha do tipo de reforço a ser executado elas estão divididas em quatro categorias. Técnicas, econômicas, exequibilidade e segurança, as técnicas dependem das características basicamente da edificação e do solo. Sendo que a econômica diz respeito aos custos envolvidos e se o proprietário tem condições de arcar com os mesmos. Na condicionante de exequibilidade são levados em consideração métodos construtivos. (HELENE, 2003).

Para Moraes (1976) projetar uma estrutura significa estudar a associação de seus elementos e prepará-los para suportar os diferentes esforços a que estarão submetidos. Em construção, os elementos estruturais são: blocos, sapatas, blocos sobre sapatas, paredes, pilares, vigas, lajes, tirantes, entre outros. Portanto, na realização do projeto estrutural, o projetista da superestrutura deve tomar conhecimento dos prováveis recalques que as fundações poderão apresentar para que as fundações poderão ser absorvidos pelas diversas peças estruturais. Afinal, na prática, ele é feito de acordo com os ensinamentos da Estática das Construções da Resistência dos Materiais e da perfeita avaliação dos esforços externos que solicitam as estruturas.

Velloso: Lopes (2011) defendem que um dos primeiros cuidados de um projetista de fundações deve ser o emprego de terminologia correta.

2.4 Descrevendo a Pesquisa de Campo

2.4.1 Metodologia

Durante a pesquisa utiliza-se a pesquisa bibliográfica, pois para Marconi; Lakatos (1992), a mesma é o levantamento de toda a bibliografia já publicada, em forma de livros, revistas, publicações avulsas e imprensa escrita. Portanto, foram sondadas várias obras concernentes ao tema do TCC, e ainda realizou-se pesquisas em vários sites analisando os artigos publicados os quais possibilitaram que este trabalho tomasse forma para ser fundamentado.

De mãos de todo referencial teórico, realizou a pesquisa de campo, afinal, Marconi; Lakatos (1992), defendem que a pesquisa de campo é uma forma de levantamento de dados no próprio local onde ocorrem os fenômenos, através da observação direta, entrevistas e medidas de opinião. Neste interim, a pesquisa foi concretizada na cidade Goiânia e de Anápolis, com realização de fotografias de estruturas que retratam Fundações de Reforços. A escolha dos prédios fotografados é devido os mesmos estarem de acordo com os estudos bibliográficos.

2.4.2 Casos estudados

Esta parte é reservada para mostrar as 9 (nove) fotografias de obras realizadas pelo autor, nas cidades de Goiânia- GO, no mês de novembro de 2013. Essas fotografias possibilitam a análise de estruturas cujas fundações foram contempladas reforço de fundações.

Analisou-se, ainda aspectos relevantes da modelagem da estrutura e do comportamento do solo.

Mesmo se fazendo tudo certo como: selecionar os materiais, escolher o tipo mais apropriado de fundação para cada caso, realizar os estudos e verificações pertinentes ao solo, podem ocorrer problemas nas fundações da residência, pois ela também sofre influencia de outras naturezas, em virtude dessa situação explanaremos neste capítulo um pouco sobre estas possíveis influências.

É importante destacar que quando se projeta uma edificação, faz-se necessário ter informações precisas sobre a utilização da mesma, tendo em vista que irá projetar a superestrutura para agüentar uma carga compatível com sua utilização, contudo se após a obra

concluída o proprietário mudar sua utilização, esta mudança pode prejudicar a estrutura, considerando que sua carga irá exceder o limite para qual a mesma foi projetada, podendo até entrar em colapso.

2.4.2.1 Reforço – Estaca Raiz

A figura 2.34, a seguir, é um prédio com estrutura a qual foi utilizada a estaca raiz, pois o mesmo foi moldado *in loco*, e ainda percebe-se que foi uma obra executada através de perfuração rotativa. É importante destacar ainda que a construção encontra-se parcialmente fora do prumo. O projeto inicial foi realizado com base em tubulão, pois é possível detectar ainda lançamento do concreto no tubulão sem rebaixamento do lençol freático ocasionando a segregação.

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).

Analisando a obra de Junqueira (1994), o Edifício *Boulevard* apresenta sérios problemas de recalques em suas fundações desde 1990. Portanto, é possível identificar o uso da estaca raiz como correção do reforço.

Se constatada a presença de rocha na ponta da mesma, ela pode ser empregada também como estaca com resistência de ponta. Em ambos os casos, o cálculo de uma fundação em estacas raiz é semelhante ao método clássico utilizado em outros tipos de estacas e baseia-se na capacidade de carga da mesma isoladamente (MORAES, 1976); (HACHICH, et. al. 2001); (GUSMÃO FILHO, 2006)

Vê-se que no Brasil, o emprego da estaca raiz tem sido bem difundido, tendo-se adaptado muito bem aos tipos de solos encontrados no país, sendo utilizado não só como reforço, mas com elemento principal de fundação de prédios, pontes e viadutos.

Na figura abaixo se pode vê o uso da estaca "Raiz" por ser um processo mecânico mediante o uso de rotação ou roto percussão com circulação de água, lama bentonítica ou ar comprimido e pode atravessar, terrenos de qualquer natureza, inclusive alvenaria, concreto armado, rochas ou matacões, na direção vertical ou inclinada.



Rua T66 Q131, s/n LOTE 13/14 Setor Bueno - Goiânia - Goiás.

Figura 2.34 – Edifício Boulevard: Reforço em Estaca Raiz

Fonte: Fotografia realizada pelo autor, 2013.

Pode-se dizer também que com esse prédio, ocorreu o reforço de urgência. Ou seja, o projeto inicial para o edifício era de ser comercial, mas foi alterado com o término da execução da estrutura. Passando então a ser um projeto de condomínio Edifício Business Center, no entanto, ocorreu alteração em sua arquitetura, e com isso as cargas já estabelecidas necessitaram de um reforço preventivo.

2.4.2.2 Reforço em estaca mega de concreto

Abaixo, encontra-se a figura 2.35 – Edificação do tipo residência localizada à Rua T-003, esquina com Orestes Ribeiro, no Setor Bueno – Goiânia/GO. Esta construção apresenta reforço em estaca mega de concreto, pois a residência apresenta grande resistência e excelentes resultados.

Foi possível identificar ainda que essa residência foi utilizado estacas em concreto armado, os quais estão ligados uns aos outros por emenda especial e cravados sucessivamente por meio de macacos hidráulicos.



Figura 2.35 – Residência: Reforço em Estaca Mega

Fonte: Fotografia realizada pelo autor, 2013.

Quanto ao caso do reforço executado na residência acima, é possível verificar de forma sucinta, que: o método de reforço utilizado, que foi a estaca mega foi escolhido porque era o mais apropriado para o caso, sua execução foi acompanhada de forma bastante atenciosa por parte dos profissionais envolvidos em seu projeto, sua execução também foi feita de forma correta, contudo poderia ter sido feito um acompanhamento de desnível pós-execução da obra com equipamentos mais precisos, mas este fato não teve nenhuma influencia negativa na sua execução, já que foram feitas visitas depois do reforço executado, conforme a figura.

Partindo do pressuposto de que a estaca mega é constituída de elementos sobrepostos, e que os mesmos buscarão reação ou sobre o bloco existente ou sob a estrutura que esteja sendo construída ou sob 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).

2.4.2.3 Alteração de Carga

Banco Bradesco (figura 2.36) Rua 3 com a Goiás, no setor central Goiânia/GO, alterado a arquitetura para atender as necessidades do prédio comercial. Sendo que teve aumento de vãos e consequentemente as fundações não atendiam ao novo projeto estrutural. Tendo de ser feito reforços na fundação existente e criando novos locais na fundação para atender os pilares criados.

Foi utilizado a estaca moldada *in loco*, com base alargada e com tubo recuperado ou não, é obtido pela introdução de material granular ou concreto através de golpes de um pilão. Utilizou-se a fundação inicial em estaca franki, pois segundo Brito (1987) uma vez executada a base e colocada a armadura, inicia-se a concretagem do fuste, em camadas fortemente socadas, extraindo-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.

E seu reforço foi em estaca mega de concreto. De acordo que a estrutura foi sendo elevada as estacas eram cravadas. Vê-se que essa técnica foi utilizada e com sucesso com vista a corrigir patologias, aumentar a capacidade de carga, além de realizar fundações especiais.



Figura 2.36 – Banco Bradesco: Alteração de Carga

Fonte: Fotografia realizada pelo autor, 2013.

2.4.2.4 Acréscimos de Pilares

A estrutura do Banco Itaú (figura 2.37), sediado à Rua 2 com Goiás, no setor central de Goiânia/GO, foi realizada utilizando o reforço de fundação para o acréscimo de dois pilares que foram moldados para adaptação da acessibilidade onde foi executada uma rampa de acesso aos cadeirantes. Esse reforço realizado foi com estaca mega de concreto.

O projetista deve ter optado pelo reforço em pilares, devido o mesmo conter elementos estruturais capazes de manter o reforço, pois é uma obra que exige maior cuidado. Pois,

De qualquer forma, caso se vá considerar a contribuição do pilar original, as deformações iniciais do concreto devem ser rigorosamente consideradas no projeto, para que as deformações finais (após o reforço) não ultrapassem os valores limites teóricos de ruptura (NBR-6118).

Vale considerar que reforços em concreto geralmente aumentam a rigidez das peças tratadas, sendo necessário, verificar a influência desse aumento no comportamento global da estrutura (redistribuição de esforços).



Figura 2.37 – Banco Itaú: Acréscimo de dois Pilares para Acessibilidade

Fonte: Fotografia realizada pelo autor, 2013.

2.4.2.5 Rachaduras – Reforço de Fundação

Na figura 2.38, pode-se identificar uma estrutura com rachaduras, essa estrutura é o Teatro Goiânia, localizado na Avenida Anhanguera Nº 67 Setor central Goiânia/GO. É um prédio antigo, da década de 60. E uma construção que foi preciso utilizar reforço de sua fundação pois, apresentou rachaduras a 45°. A fundação inicial era em viga de fundação. Foi feito um reforço em estaca mega de concreto.

“O Governo do Estado de Goiás, proprietário dessa edificação, tomando a decisão de submete-la a uma reforma geral, incluiu nesse serviço, os trabalhos de reforços de fundações” (JUNQUEIRA, 1994).

É possível identificar nesta obra, a utilização do reforço de fundações, pois, ocorreram adaptações dos sistemas que já existiam e com uso dos alicerces. “Os reforços de fundações muitas vezes complementam o processo de recuperação de uma obra, sendo muitas vezes aplicados em edificações que sofrem patologias decorrentes de recalques. Isso ocorre pela erosão de material ou alteração nas características do solo” (ALONSO, 1979).



Figura 2.38 – Teatro Goiânia: Reforço de Fundações

Fonte: Fotografia realizada pelo autor, 2013.

O movimento do solo que resulta somente do processo construtivo depende da técnica empregada. O movimento causado por estas escavações podem causar danos as estruturas existentes na vizinhança e resultar danos as mesmas, quando isto ocorrer é importante acompanhar a evolução dos efeitos, através de um cuidadoso controle de recalques, fissuras, desaprumos, etc. Nos casos em que se faz necessário uma intervenção para garantir a segurança de construções afetadas, tem que se valiares os efeitos das ações reparadoras propostas para se evitar danos ainda maiores. (MILITITSKY, 2005).

2.4.2.6 Reforço Preventivo – Acrecimento de dois pavimentos

O Edifício Rio Amazonas – figura 2.39, localizado à Rua 84, nº 530, Centro, Goiânia/GO, a princípio entendeu-se que foi um edifício projetado inicialmente para cinco pavimentos e posterior a isso aprovaram junto à prefeitura o acréscimo de dois pavimentos ao projeto inicial. Foi feito os estudos dos esforços e realizaram reforço preventivo em alguns pontos da edificação que tiveram aumento de carga sendo utilizado as estacas mega de concreto em seu reforço. A sua fundação inicial foi feita em Strauss.

“A estaca Strauss é uma fundação em concreto (simples ou armado), moldada *in loco*, executada com revestimento metálico recuperável” (BRITO, 1987).



Figura 2.39 - Edifício Rio Amazonas: Alguns Pontos de carga Reforçados

Fonte: Fotografia realizada pelo autor, 2013.

Vale destacar que no canteiro e obras, devem existir vários cuidados em relação ao reforço de fundações. As principais dificuldades enfrentadas nesses reforços são as condições de trabalho. Como o objeto de estudo e intervenção está enterrado, é necessária a abertura de poços de inspeção sem que se comprometam ainda mais a estabilidade da edificação. Esse é um dos principais fatores que devem ser levados em conta para a especificação do reforço. Em prédios, por exemplo, as intervenções têm de ser realizadas por dentro do edifício, impossibilitando o uso de bate-estacas de grande porte. (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2005); (MORAES, 1976); (HACHICH, et. al. 2001).

2.4.2.7 - Interferência de construções vizinha

O Hotel Blue Tree, (figura 2.40) está localizado na Rua 22 quadra 9 lote 53/55 Setor Oeste Goiânia/GO. Com a ampliação do hotel em um lote vizinho foi visto que havia a necessidade de reforçar a fundação inicial da edificação já existente. Sendo assim foi realizado o reforço com estaca mega de perfil metálico.



Figura 2.40 - Edifício Blue Tree: Interferência de Construções Vizinhas

Fonte: Fotografia realizada pelo autor, 2013.

Quando uma nova construção é feita sem os cuidados essenciais, para que as construções ao seu redor não sejam afetadas por ela, isto pode se tornar um problema com elevadas proporções, tendo em vista que não estamos falando somente de bens materiais e sim de vidas humanas.

Em suma é desejável que o comportamento da obra seja acompanhado ao longo de algum tempo após sua conclusão, resultando em ensinamentos valiosos para o futuro. Apesar de ser uma recomendação expressa na norma NBR 6122, ele é raramente feito (VELLOSO; ALONSO, 2011).

2.4.2.8 – Obras sem necessidade de reforço

Edifício Comercial (figura 2.41), localizado na Rua 85 N°720 Setor Sul, Goiânia/GO. Depois da edificação pronta foi feito um acréscimo de dois pavimentos mas não houve a necessidade de realizar o reforço pois, a fundação inicial que era em estaca pré-moldada teve o acompanhamento do recalque e se manteve estável.



Figura 2.41 - Edifício Comercial: Fundação em Estaca Pré-Moldada

Fonte: Fotografia realizada pelo autor, 2013.

A presente pesquisa mostrou que para se desenvolver um projeto de fundações, é necessário e extremamente importante que um profissional habilitado, com o domínio da técnica, experiência e pode-se dizer até audácia, tome frente deste, para que o mesmo não tenha nenhum tipo de problema, pois se sabe que para se obter um bom desempenho de uma fundação tem que se atentar para uma serie de fatores como: investigação do subsolo, utilização do imóvel, forma de como foi feita sua execução dentre outros que influenciam diretamente as fundações como um todo. Contudo se existirem falhas de qualquer que sejam as origens, contudo a certeza de que os métodos que existem para a execução de reforço das fundações estão cada vez mais modernos e ao alcance de boa parte da população.

2.4.3 Análise dos Resultados

As 6 (seis) fotografias de obras realizadas no mês de novembro de 2013, na cidade de Goiânia-GO, mostrou que a maioria foram construções que apesar de terem sido projetadas, ao longo dos tempo tiveram que sofrer Reforço de Fundações.

Percebeu-se ainda que foram utilizados os seguintes reforços com estacas raiz; estaca mega.

Foi possível ainda detectar que uma obra não precisa de reforço, a mesma foi realizada com fundação em estaca pré moldada. A estaca prensada ou estaca mega é um tipo de fundação que se caracteriza por ser usada apenas em reforços estruturais e é cravada estaticamente com isso se tem a ausência de vibrações durante a cravação, reduzindo os riscos de uma eventual instabilidade que por ventura venha a ocorrer.

Na obra que foi utilizada a estaca raiz, foi possível detectar que a mesma no início dos serviços os pontos onde foram selecionados tiveram também as estacas previamente locados, em conformidade com os projetos, e avaliados e só assim, ocorreu o posicionamento da perfuratriz. No entanto, os posicionamentos, dimensões e comprimentos das estacas foram ser executados, rigorosamente, conforme indicações constantes em desenhos do projeto.

As escavações provocam uma movimentação do solo junto a elas, em razão da perda de material ou rebaixamento do lençol freático com o adensamento de solos saturados. Os efeitos nas vizinhanças dependem diretamente da estabilidade das fundações das mesmas e da sensibilidade aos recalques. O movimento do solo que resulta somente do processo construtivo depende da técnica empregada. O movimento causado por estas escavações podem causar danos as estruturas existentes na vizinhança e resultar danos as mesmas, quando isto ocorrer é importante acompanhar a evolução dos efeitos, através de um cuidadoso controle de recalques, fissuras, desaprumos, entre outros. Nos casos em que se faz necessário uma intervenção para garantir a segurança de construções afetadas, tem que se avaliem os efeitos das ações reparadoras propostas para se evitar danos ainda maiores. (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2005)

Analisando a estrutura dos edificios estudados, pode-se observar que os mesmos não oferecem resistência suficiente para suportar as cargas provenientes de novo projeto estrutural. Pois, foi possível perceber que quando uma nova construção é realizada sem os cuidados essenciais, para que as construções ao seu redor não sejam afetadas por ela, isto pode se tornar um problema com elevadas proporções, não só de bens materiais mas de vidas humanas também. Para tanto, ao se executar uma edificação se deve tomar alguns cuidados

como a colocação de juntas entre as edificações para que quando a nova edificação carregue suas fundações não danifique a edificação lateral causando trincas a ela.

Foi possível verificar ainda que cada edifício obteve as soluções de reforços de acordo com as condicionantes do problema em questão, tais como: tipo de solo, urgência, fundações existentes, nível de carregamento e espaço físico disponível. “A escolha do tipo de reforço a ser adotado vem em decorrência do diagnóstico alcançado e da experiência e julgamento dos profissionais envolvidos no problema. A definição do tipo a ser aplicado deve ficar sujeita a condicionantes técnicas, econômicas, de exequibilidade e de segurança”. (MORAES, 1976); (HACHICH, et. al. 2001).

É importante destacar que mesmo se fazendo tudo certo como: selecionar os materiais, escolher o tipo mais apropriado de fundação para cada caso, realizar os estudos e verificações pertinentes ao solo, podem ocorrer problemas nas fundações da residência, pois ela também sofre influencia de outras naturezas.

3 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Reforço da fundação existente com novas estacas, quase sempre de melhores características resistentes, mas fundados conjuntamente com os originais. Para que não ocorra futuros problemas em uma construção, o profissional da área precisa realizar diagnóstico como: investigação do subsolo, levantamento de cargas, topografia, vizinhos, concepção do projeto, e após concretizar um detalhamento do projeto e por fim acompanhar sempre os serviços.

Percebeu-se com a observação dos edifícios que existiu uma necessidade de uma prospecção geotécnica adequada, os engenheiros deveriam ter dado maior atenção nos projetos aos movimentos da fundação. No entanto, nada substitui a boa engenharia.

Com este estudo entendeu-se que para desenvolver um projeto de fundações, é indispensável e muito importante que um profissional habilitado, seja portador do domínio da técnica, ter experiência e até audácia, para que o mesmo não tenha nenhum tipo de problema futuro.

Por outro lado, é importante ainda considerar, que se existirem falhas de qualquer que sejam as origens, os profissionais podem recorrer aos métodos que literatura dispõe para a execução de reforço das fundações, pois esse ramo está cada vez mais modernos e ao alcance de boa parte da população. Mas, a escolha do tipo de reforço a ser adotada é função do diagnóstico alcançado e da experiência e julgamento dos profissionais envolvidos no problema, sendo necessário considerar as diversas condicionantes para poder escolher o tipo de reforço.

Reforço de fundação é utilizado quando uma estacaria resulta insuficiente para suportar as cargas de um edifício. Esta situação pode suceder devido a causas muito diversas: Degradação do material das estacas; Desenho ou execução defeituosa da estacaria e Aumento das cargas por modificações no edifício. Para tanto, as soluções normalmente consistem em: Substituição da fundação por outra nova, deixando geralmente a fundação antiga no terreno; Reforço da fundação existente com novas estacas, quase sempre de melhores características resistentes, mas fundados conjuntamente com os originais.

Durante a execução de qualquer obra de fundação, é essencial ter um adequado controle de campo para garantir qualidade e um bom funcionamento da mesma. A falta de conhecimento prévio dos parâmetros do solo poderá causar problemas específicos, dependendo do tipo de estrutura. É necessário ainda adequar a relação custo/benefício do

reforço. Deve-se verificar se os custos de reforço são compatíveis com o valor da construção no mercado.

Ao finalizar este trabalho, com o qual se pretendeu contribuir para uma melhor compreensão dos fenômenos associados à construção com utilização de reforço de fundações, entendeu-se ser pertinente e apontar algumas vias para prosseguimento de estudos, ou seja, que os próximos se preocupam e fazer relação com o custo/benefício.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES E GEOTECNIA - ABEF. **Manual de especificações de produtos e procedimentos**. 3 ed. São Paulo: Pini, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR – 13208: Estacas - **Ensaio de carregamento dinâmico**. Rio de Janeiro: 1994.

_____. NBR – 12131: **Estacas - Prova de carga estática - Método de ensaio**. Rio de Janeiro: 2006.

_____. NBR – 6489: **Prova de carga direta sobre terreno de fundação**. Rio de Janeiro: 1989.

_____. NBR6122. **Projeto e Execução de Fundações**. Rio de Janeiro, 2010.

_____. ABNT. NBR – 14724: **Informação e documentação — Trabalhos acadêmicos — Apresentação**. 3 ed. Rio de Janeiro, 2011.

AZEREDO, Hélio Alves de. **O edifício até sua cobertura**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1988.

AZEVEDO, Alvaro. **Recalque**. Disponível em<<http://civil.fe.up.pt/pub/apoio/ano5>>. Acesso em 23 de set. 2013.

BARROS, Mercia. **Fundações**. Net, São Paulo, fev. 2003. Disponível em: <http://pcc2435.pcc.usp.br/textos.htm>. Acesso em 23 set. de 2013.

BORGE, J. L. **Aterros sobre Solos Moles Reforçados com Geossintéticos**. Dissertação de Douturamento. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1985.

BRANDI, José Luiz Gonçalves. **Recalque**. Disponível em <http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/handle>. Acesso em 14 de out. de 2013.

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

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e suas aplicações**. 3 ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 1973. v. 1. 242 p.

CONSTÂNCIO, Douglas. **Fundações**. Disponível em <www.helix.eng.br/download>. acesso em 15 set. 2013.

CUNHA, R. P. **Estudo do comportamento de fundações em radier estaqueados: Conceitos e aplicações**. Brasília: Universidade de Brasília, 2003.

FABIANI, Breno. **Fundações**. São Paulo: EPUSP, 1987.

GOTLIEB, M. (2006). Reforço de Fundações Convencionais. In: ABMS/ABEF, **Fundações - Teoria e Prática**. São Paulo: Pini, 1998.

GUSMÃO, Alexandre Duarte (Org.). **Geotecnia no Nordeste**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2002.

GUSMÃO FILHO, Jaime de Azevedo. **Desempenho de obras geotécnicas**. Recife: Ed. Universitária/UFPE, 2006.

HACHICH, Waldemar, *et al.* **Fundações: Teoria e pratica**. 2 ed. São Paulo: Pini, 2001.

HELENE, Paulo R. L. (Coord.). **Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Red Rehabilitar, 2003.

JOPPERT Júnior, Ivan. **Fundações e Contensões de Edifícios: qualidade total na gestão do projeto e execução**. São Paulo: Pini, 2007.

JUNQUEIRA, Sandoval. **Aspectos práticos sobre a instalação e a utilização de estacas prensadas**. São Paulo, 1994.

MAIA, C. M., *et al.* Execução de Fundação Profunda. In: ABMS/ABEF. **Fundações Teoria e Prática**. São Paulo: PINI, 2006.

MILITITSKY, Jarbas. **Patologia das Fundações**. São Paulo: Oficina de textos, 2008.

MILITITSKY, Jarbas; CONSOLI, Nilo César; SCHNAID, Fernando. **Patologia das Fundações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

MILITO, José Antônio de. **Técnicas de Construção Civil e Construções de Edifícios**. São Paulo: USP, 2012.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 1992.

MORAES, Marcello de Cunha. **Estruturas de fundações**. 3 ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1976.

OLIVEIRA FILHO, Ubirajara Marques de. **Fundações profundas**. 3 ed.. Porto Alegre: D.C. Luzzatto, 1988.

PRADO, R.; FARIA, L.; VAZ, N. **Utilização de Microestaca em Fundações de Pontes na Ilha da Madeira**. Rio de janeiro: ABMS-BA, 2001.

PRESA, E. P.; POUSADA, M. C. **Retrospectiva e Técnica Moderna de Fundações em Estacas**. Salvador: ABMS-BA, 2001.

QUARESMA, A. R., et al. Investigação Geotécnica . In: ABMS/ABEF, **Fundações Teoria e Prática**. São Paulo: PINI, 1998.

F.X.FUNDAÇÕES. **Sondagem à percussão e rotativa**. Disponíveis em <http://www.fxsondagens.com.br/sondagens-percussao.html#rotativa>. Acesso em 10 de nov. 2013.

BIBLIOTECA ONLINE DA CONSTRUÇÃO. Caixões. Disponível em <http://construironline.dashofer.pt/?s=modulos&v=capitulo&c=401>. Acesso em 10 de nov. 2013.

VELLOSO, Dirceu A.; LOPES, Francisco. **Fundações**. São Paulo: Oficina de textos, 2011.