

Patologias em fundações profundas, método de recuperação – Aplicações práticas

Rodrigo Andrade dos Santos

Engenheiro Civil Mestrando

Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo Instituição – IPT, São Paulo.

Lattes: 1198445862785183

RESUMO

O termo "fundação" refere-se ao estabelecimento de uma base para construção, desempenhando um papel crucial na transmissão de cargas e tensões para o solo, conforme destacado por Milititsky (2015) e Azeredo (1997). No contexto da Engenharia Civil e Geotecnia, a diversidade dos solos exige estudos detalhados para garantir a segurança e estabilidade da estrutura diante de cargas variáveis e estáticas, considerando também fatores econômicos e ambientais. Problemas patológicos estruturais podem surgir, demandando investigação e tratamento adequados para preservar a estabilidade da edificação sem comprometer a segurança das pessoas e do patrimônio. Este trabalho tem como objetivo apresentar as possíveis patologias em fundações, juntamente com as metodologias de controle e reforço estrutural.

Palavras-chave: Problemas patológicos, Geotecnia, Reforço estrutural.

1 INTRODUÇÃO

Segundo a definição do dicionário, o termo "fundação" refere-se ao processo, ato ou resultado de estabelecer algo, sendo uma estrutura ou base sobre a qual uma edificação será construída (MICHAELIS, 2018).

Conforme Milititsky (2015), a fundação de uma estrutura desempenha um papel fundamental ao transmitir as cargas e as tensões para o solo. Seguindo a mesma linha de raciocínio, Azeredo (1997) sustenta que os elementos estruturais de fundação têm como função primordial a distribuição das cargas e das tensões para o solo da edificação.

No âmbito da Engenharia Civil e da Geotecnia, encontramos uma ampla variedade de solos com características distintas. Portanto, no contexto de fundações, é de suma importância realizar estudos e análises do solo em relação às cargas variáveis e estáticas que serão aplicadas, levando em consideração o carregamento da estrutura. É claro que os fatores de viabilidade econômica e sustentabilidade devem ser considerados, porém sem comprometer a segurança e estabilidade da edificação.

Toda estrutura, seja durante sua construção ou durante o uso, pode enfrentar problemas patológicos estruturais devido ao seu desempenho inadequado na transmissão de esforços para o solo, resultando em fissuras e trincas que requerem investigação e tratamento. Nesse contexto, o principal objetivo deste trabalho é apresentar as possíveis patologias decorrentes de problemas nas fundações, bem como as metodologias e



procedimentos técnicos para o controle e reforço estrutural, visando manter a estabilidade da edificação sem colocar em risco a segurança das pessoas e do patrimônio.

2 OBJETIVO

O principal objetivo é apresentar os fatores e consequências decorrentes da negligência ou falta de conhecimento por parte de profissionais em relação às premissas técnicas relacionadas à investigação do solo versus a estrutura de fundação. Além de destacar a importância do estudo preliminar do solo na escolha do tipo mais adequado de fundação, visando evitar uma série de problemas estruturais potenciais que podem afetar parcial ou totalmente a construção. Esses problemas podem incluir recalques diferenciais na fundação, muitas vezes exigindo a evacuação de edifícios ou residências para a realização de uma investigação das verdadeiras causas da patologia. Em tais circunstâncias, pode ser necessária a implementação de reforço estrutural, como Estacas Mega, Raízes, Vigas de Alavanca e Reforço Estrutural. Para enriquecer o trabalho e promover o conhecimento sobre reforços de fundações, será apresentada uma tabela para comparar as características dos diferentes tipos e soluções de reforço estrutural.

3 METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão da literatura, desenvolvida com artigos publicados no período de 2010 a 2024 nas bases eletrônicas: Portal Capes, Scientific Electronic Library Online – Scielo, Google Acadêmico, portal do Conselho Regional de Engenharia de São Paulo. Além de dissertações de mestrado, tese de doutorado relacionado ao tema publicado de 2010 a 2024, livros de engenharia diagnóstica, livros de patologias em estruturas de concreto armado.

4 FUNDAÇÃO ESTRUTURAL

Uma fundação surge da necessidade de transmitir as cargas da estrutura para o solo. Seu comportamento ao longo do tempo pode ser influenciado por diversos fatores, começando pelos aspectos do projeto, que incluem o entendimento das características do solo. Em seguida, os procedimentos construtivos desempenham um papel crucial, seguidos pelos efeitos de eventos ocorridos após a conclusão da construção, inclusive possíveis processos de degradação.

Conforme estabelecido pela NBR 6122:2022, uma fundação profunda é aquela responsável por transmitir a carga da superestrutura para o solo através da base (resistência de ponta), da superfície lateral (resistência de fuste) ou por meio da combinação de ambas. Além disso, de acordo com essa norma, em fundações profundas, a profundidade de assentamento deve ser superior a duas vezes a menor dimensão em planta do elemento de fundação.

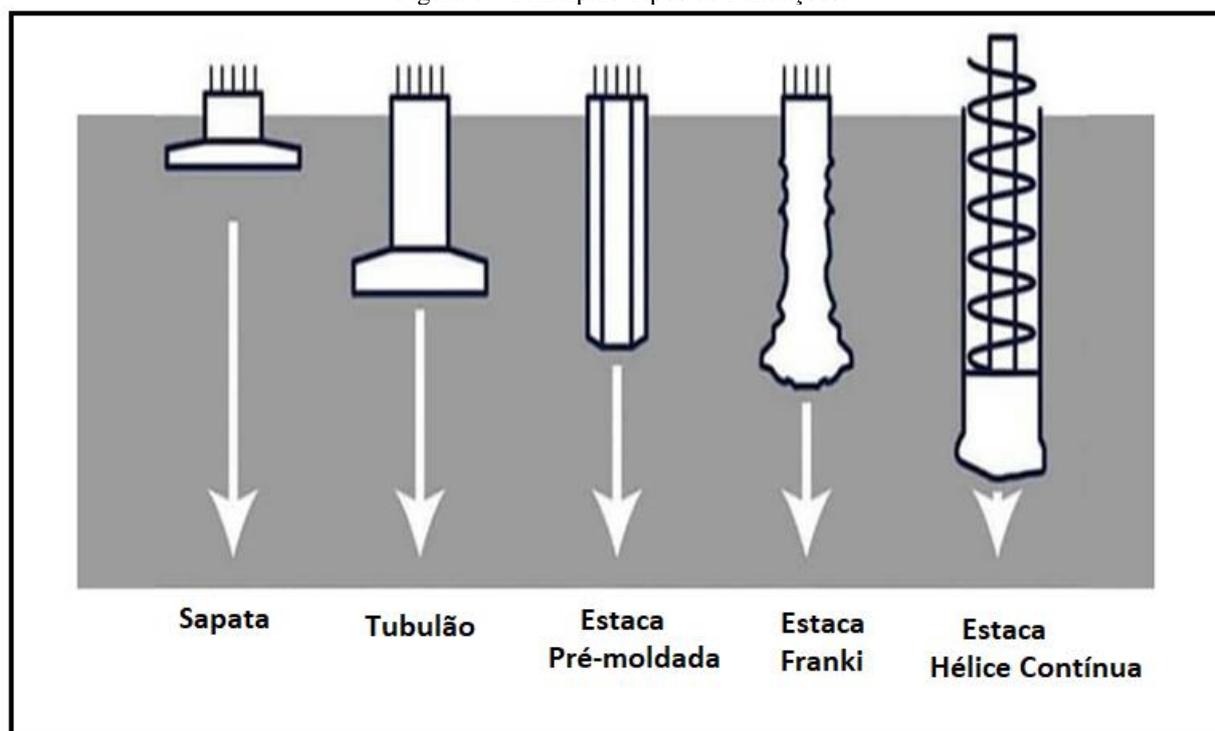
As fundações profundas são frequentemente empregadas quando os solos superficiais não possuem capacidade para suportar cargas elevadas ou estão sujeitos a processos erosivos. Além disso, são utilizadas quando há a possibilidade de escavações futuras nas proximidades da obra. Esse tipo de fundação permite transmitir as cargas da estrutura para camadas mais profundas do solo, oferecendo maior estabilidade e segurança à edificação.

Na NBR 6122:2022, os tipos de fundações profundas apresentados são:

- **Estacas:** são elementos de fundação profunda que são executados com o auxílio de ferramentas ou equipamentos, sem que haja a necessidade de descida de operários em qualquer fase da execução. Esse processo pode envolver métodos como cravação a percussão, prensagem, vibração ou até mesmo escavação. As estacas podem ser constituídas de diversos materiais, incluindo madeira, aço, concreto, entre outros;
- **Tubulões:** são elementos cilíndricos de fundação profunda nos quais, pelo menos em sua fase final, ocorre a descida de operários. Esses elementos podem ser executados tanto a céu aberto quanto em ambientes com ar comprimido, e podem ter ou não uma base alargada;
- **Caixões:** são elementos de fundação em forma prismática que são concretados na superfície do terreno e instalados por meio de escavação interna. Durante sua instalação, pode-se ou não utilizar ar comprimido, e o caixão pode ou não ter sua base alargada.

Na figura 1 temos os tipos mais usados de fundação:

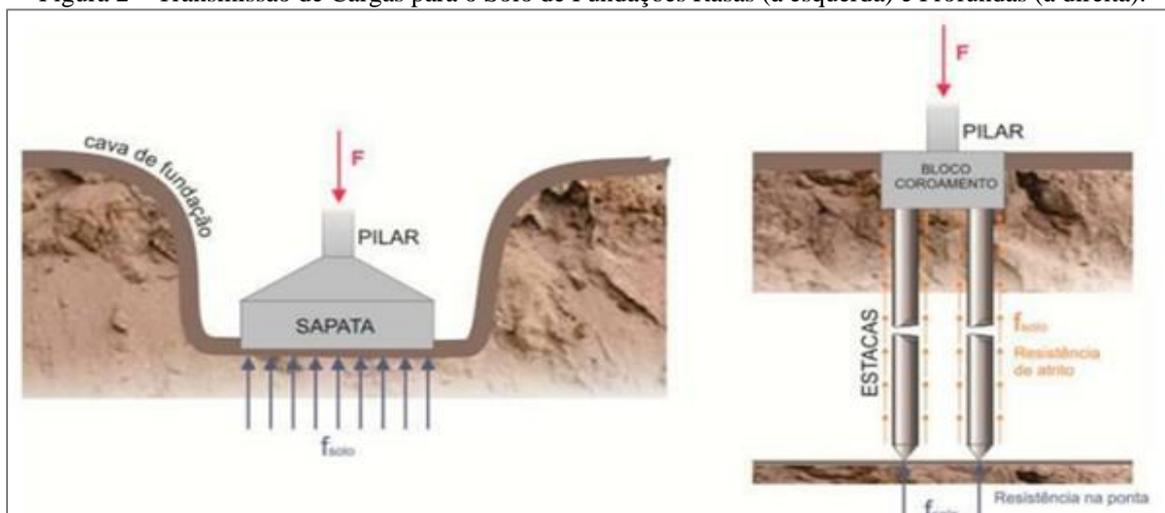
Figura 1 – Principais Tipos de Fundações.



Fonte: Silvio (2020).

É confirmado que a fundação é a estrutura responsável por transferir as cargas atuantes em uma edificação para o solo, sendo classificada em fundações rasas ou diretas e fundações profundas. Nas fundações rasas, as tensões são transmitidas para o solo por meio da área de contato da base de sapatas, blocos de fundação ou radier, conforme as especificações do projeto. Já nas fundações profundas, as tensões são repassadas ao solo por meio da resistência de atrito lateral e da resistência de ponta de estacas ou tubulões.

Figura 2 – Transmissão de Cargas para o Solo de Fundações Rasas (à esquerda) e Profundas (à direita).

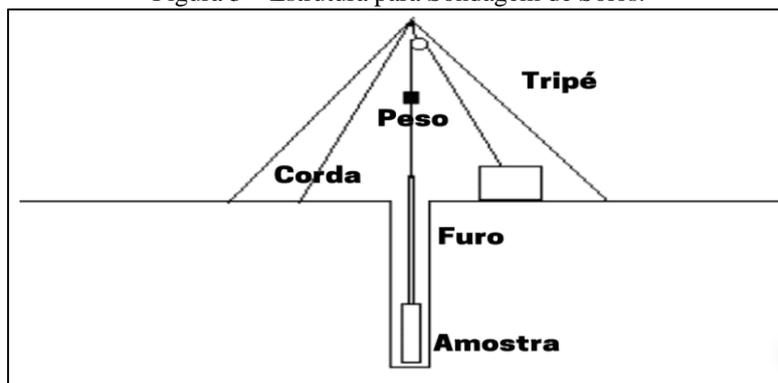


Fonte: Barros (2011).

4.1 SONDAGEM DO SOLO

O método mais usual é a sondagem com SPT (Standard Penetration Test), conforme a norma NBR 6484:2020. A partir dos levantamentos e emissão de relatório de sondagem, é possível reconhecer o tipo de solo e suas respectivas características e espessuras de camadas, as condições de compactação (grau de compactação de um material), consistência (grau de trabalhabilidade de um material) e capacidade de carga, assim como o nível do lençol freático.

Figura 3 – Estrutura para Sondagem de Solos.

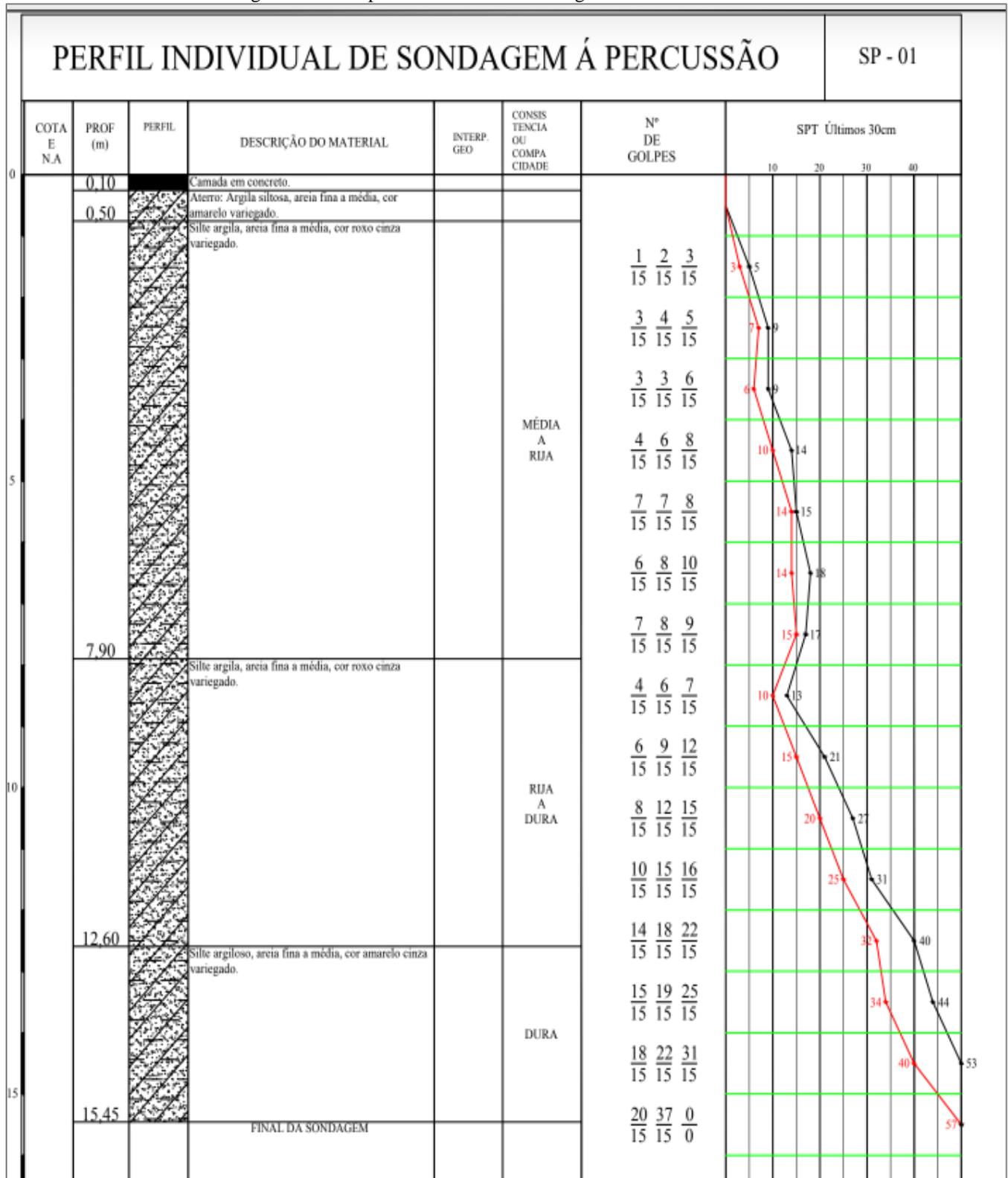


Fonte: Sondagens (2021).



Temos na figura 4 um exemplo de relatório de sondagem de solo à percussão.

Figura 4 – Exemplo de Relatório de Sondagem de Solo à Percussão.



Fonte: Acervo Pessoal do Autor

5 PATOLOGIAS EM FUNDAÇÕES

Grande parte das patologias está associada a uma análise superficial do solo ou à falta de ensaios de sondagem, e em alguns casos, à interpretação incorreta dos dados obtidos. Esses erros podem levar a uma compreensão inadequada do real comportamento do solo e sua interação com a estrutura. De acordo com Milititsky, Consoli e Schnaid (2015), cerca de 85% dos casos de falha no desempenho de fundações em obras de pequeno e médio porte estão diretamente relacionados à ausência completa de investigação do solo e à adoção de soluções inadequadas.

Os autores acrescentam que outra parcela da falta de desempenho pode ser atribuída aos projetistas de fundações, devido à falta de conhecimento e/ou experiência em geotecnia e solo, bem como à sua interação com os diferentes tipos de estruturas. Além disso, a ausência de supervisão em todos os eventos relacionados às fundações, como investigação, escavação e execução, também pode contribuir para essa falta de desempenho.

Neves (2010) reforça que a estrutura de uma edificação está sujeita a movimentações durante sua ocupação e uso. É um fato que essas movimentações geram tensões que, quando excedem os limites de resistência dos componentes da edificação estabelecidos em projeto, resultam em patologias nos elementos estruturais, como trincas e fissuras, conforme afirmado por Milititsky, Consoli e Schnaid (2015). O autor também estabelece relações e semelhanças entre problemas característicos frequentemente causados pela falta de investigação adequada do solo para o projeto de fundação, como descrito no quadro 1.

Quadro 1 – Problemas Típicos Ocasionado pela Ausência de Investigação Correta do Solo.

Tipo de Fundação	Problemas Típicos Decorrentes
Fundações Diretas	Tensões de contato excessivas, incompatíveis com as reais características do solo, resultando em recalques inadmissíveis ou ruptura.
	Fundações em solos/aterros heterogêneos, provocando recalques diferenciais
	Fundações sobre solos compressíveis sem estudos de recalques, resultando grandes deformações
	Fundações apoiadas em materiais de comportamento muito diferente, sem junta, ocasionando o aparecimento de recalques diferenciais
	Fundações apoiadas em crosta dura sobre solos moles, sem análise de recalques, ocasionando a ruptura ou grandes deslocamentos da fundação

Fundações Profundas	Estacas de tipo inadequado ao subsolo, resultando mau comportamento
	Geometria inadequada, comprimento ou diâmetro inferiores aos necessários
	Estacas apoiadas em camadas resistentes sobre solos moles, com recalques incompatíveis com a obra
	Ocorrência de atrito negativo não previsto, reduzindo a carga admissível nominal adotada para a estaca.

Fonte: Milititsky, Consoli e Schnaid (2015).

Para Milititsky, Consoli e Schnaid (2015), os problemas de fundação relacionados aos processos construtivos adotados estão diretamente ligados à falta de dados sobre o solo. Sem uma caracterização adequada de todas as situações representativas do terreno, é comum adotar um comportamento, carga ou tipo de fundação que não corresponde à realidade da obra.

Os autores atribuem aos projetistas de fundações a responsabilidade pela falta de conhecimento e/ou experiência sobre as peculiaridades do solo e sua interação com diferentes tipos de estruturas. Eles também mencionam a falta de acompanhamento de todos os eventos relacionados às fundações, como investigação, escavação e execução, como exemplo de problemas nessa etapa.

- Projeto de fundações próximas que não levam em consideração a sobreposição de tensões;
- Desconsideração da ocorrência de atrito negativo em estacas;
- Fundações próximas ou apoiadas em aterros.

5.1 RECALQUE DE FUNDAÇÕES

De acordo com Rebello (2008), que o solo quando submetido a cargas naturalmente sofre deformação, a qual denomina-se recalque. As consequências desse fenômeno resultam na movimentação da interação solo-estrutura, podendo gerar sérios danos.

Na mesma linha de raciocínio Milititsky (2015), afirma que pelo menos há três tipos de danos causados pelos recalques, sendo eles:

- Visuais ou estéticos, os quais não apresentam perigo para a estrutura;
- Danos que comprometem a funcionalidade da estrutura;
- Danos estruturais, que colocam em risco a segurança do usufruidor.



Em relação aos recalques e sua intensidade, no caso das fundações diretas ou rasas, é importante considerar não apenas o solo e suas características, mas também as dimensões da estrutura de fundação. Geralmente, em solos arenosos, que possuem alta permeabilidade, os recalques ocorrem rapidamente após a aplicação da carga, ao passo que em solos argilosos, menos permeáveis, os recalques tendem a acontecer de forma mais lenta, podendo levar muitos anos para se manifestarem.

De acordo com Mello (1975), a preferência por fundações profundas se dá em função das consequências de recalques diferenciados. No caso das estacas flutuantes, por exemplo, observa-se o efeito de agrupamento das estacas e estacas muito profundas. O autor enfatiza que o máximo de atrito lateral mobilizado geralmente ocorre em pequenos recalques, independentemente do diâmetro do componente de fundação (estacas). Isso significa que há uma maior probabilidade de ocorrerem recalques intensos caso esses pequenos limites sejam ultrapassados.

5.2 RECALQUE DE FUNDAÇÃO

O recalque de fundação refere-se à deformação vertical do solo e da estrutura de fundação devido à aplicação de cargas. Esse fenômeno ocorre quando a carga exercida pela estrutura sobre o solo faz com que este se comprima, resultando em um afundamento gradual da fundação. O recalque pode ser diferencial, quando ocorre de forma desigual em diferentes partes da estrutura, ou uniforme, quando é distribuído de maneira uniforme ao longo da fundação. O controle e a minimização do recalque são essenciais para garantir a estabilidade e a segurança das edificações ao longo do tempo. Diversos fatores, como as características do solo, o tipo e a profundidade da fundação, e a magnitude e a distribuição das cargas aplicadas, influenciam no comportamento do recalque de fundação.

5.3 TIPOS DE RECALQUES

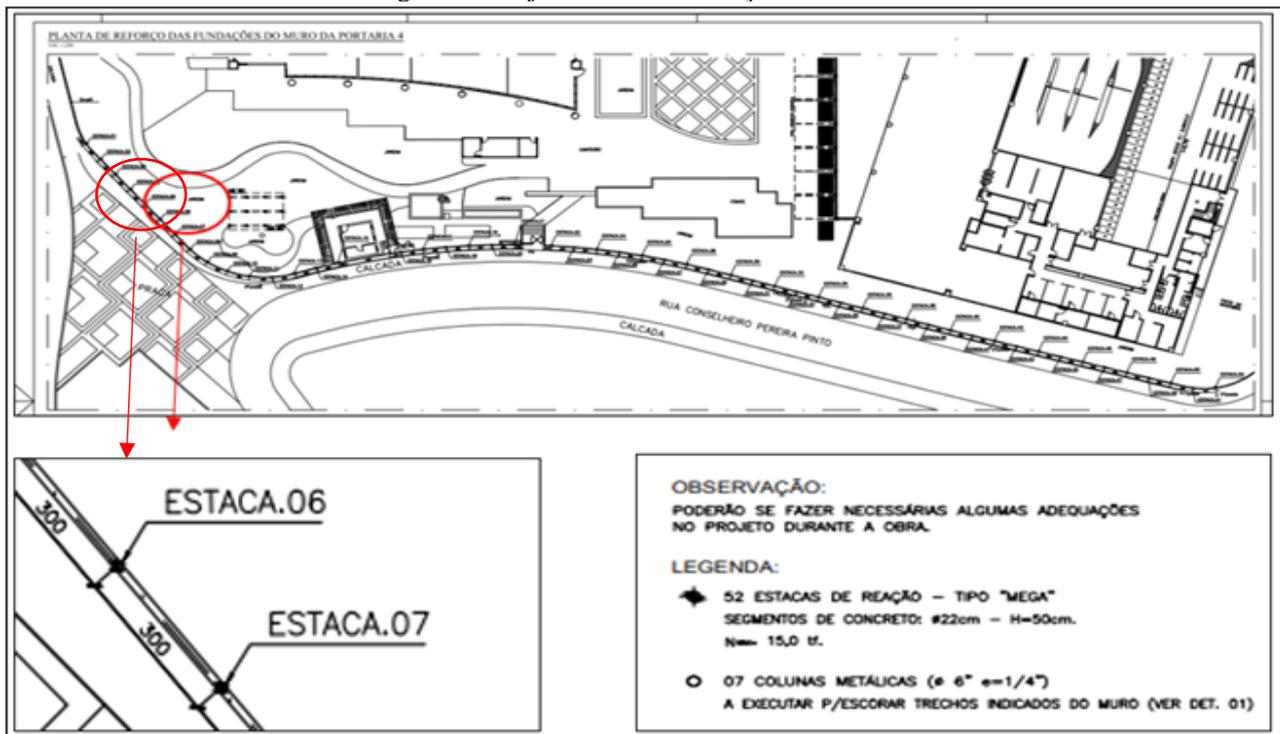
A seguir serão apontados os tipos mais comuns de recalque de fundação, suas causas e seus principais manifestações, assim como a diminuição desses recalques por meio de reforços. De acordo com Alonso (1991), quando vem a ocorrer um deslocamento de um elemento de fundação na vertical é caracterizado como recalque absoluto: Tendo a existência 02 elementos de fundação com diferença entre os recalques absolutos é denominado recalque diferencial, o qual causa deformação na estrutura ocorrendo fissuras. Em relação as cargas estáticas, há 03 tipos de recalques frequente: recalque por adensamento, recalque elástico e recalque por escoamento lateral.

Quadro 2 – Tipos de Recalques.

Tipos	Comentários do Autor
<p>Recalque por Adensamento</p>	<p>Caputo (2012). alega que a deformação do solo por adensamento ocorre devido ao fechamento dos vazios pela expulsão da água em função da pressão da fundação aplicada no mesmo, provocando a redução do maciço de solo. No caso de argilas, a ação do adensamento é muito lento mediante ao baixo coeficiente de permeabilidade. Rebello (2008) completa, afirmando que quando toda água é expulsa dos vazios, o recalque por adensamento é estabilizado, não ocorrendo mais a redução do volume do solo.</p>
<p>Recalque Elástico</p>	<p>Rebello (2008), conhecido também como recalque imediato, essa patologia habitualmente ocorre em solos não coesivos, melhor dizendo, em solos não argilosos, que após a aplicação dos elementos da fundação sofrem deformação.</p> <p>Teixeira e Godoy (1998), completa, que a rigidez da fundação, profundidade, sua forma e a espessura da camada deformável, são fatores relevantes a se considerar.</p>
<p>Recalque por Escoamento Lateral</p>	<p>Segundo Caputo (2012), a deformação por escoamento lateral acontece de maneira mais marcante nos solos não coesivos sob fundações superficiais ou rasas.</p> <p>Rebello (2008), define que está patologia trata-se da movimentação do solo localizado em uma região de grandes tensões, deslocando-se para regiões de baixas tensões, portanto, o deslocamento se dá do centro para a lateral</p>

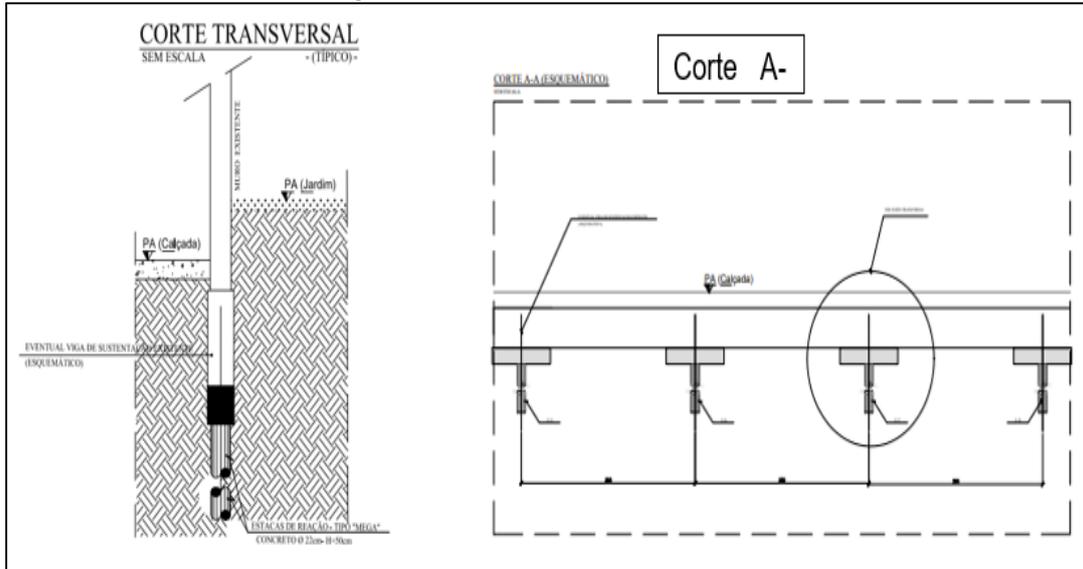
Fonte: Acervo Pessoal do Autor.

Figura 5 – Projeto com a Distribuição das Estacas.



Fonte: Acervo Pessoal do Autor.

Figura 6 – Detalhe do Corte Transversal.



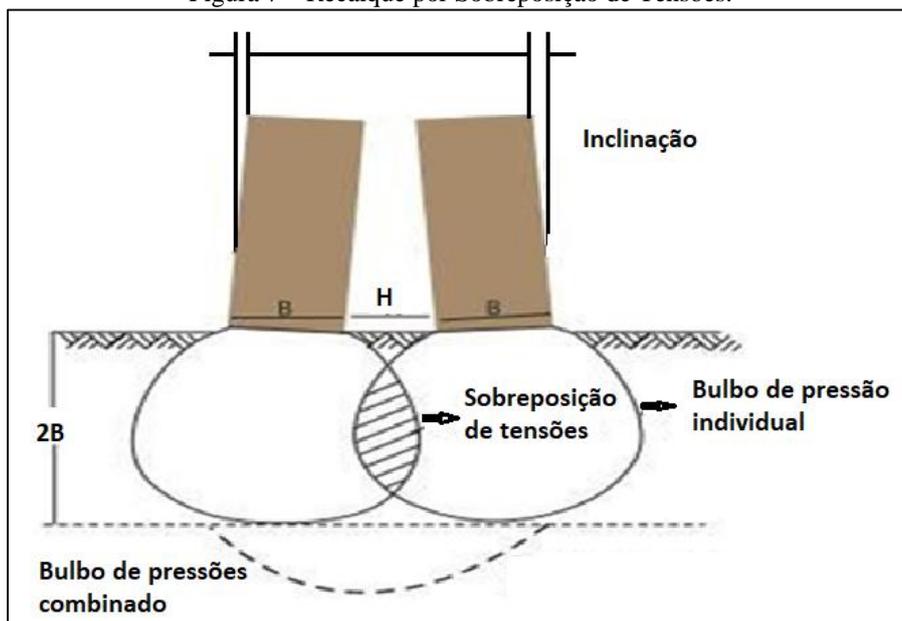
Fonte: Acervo Pessoal do Autor.

Outras causas e consequências de recalque nas fundações, serão apontadas abaixo:

- Superposição de pressões
- Deficiência na investigação geotécnica
- Influência da vegetação
- Superposição de pressões

Esse tipo de manifestação é definido pela instalação de outra solicitação de carga, que modifica as tensões no maciço de solo com uma carga de solo já existente anteriormente, provocando recalques (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2015).

Figura 7 – Recalque por Sobreposição de Tensões.



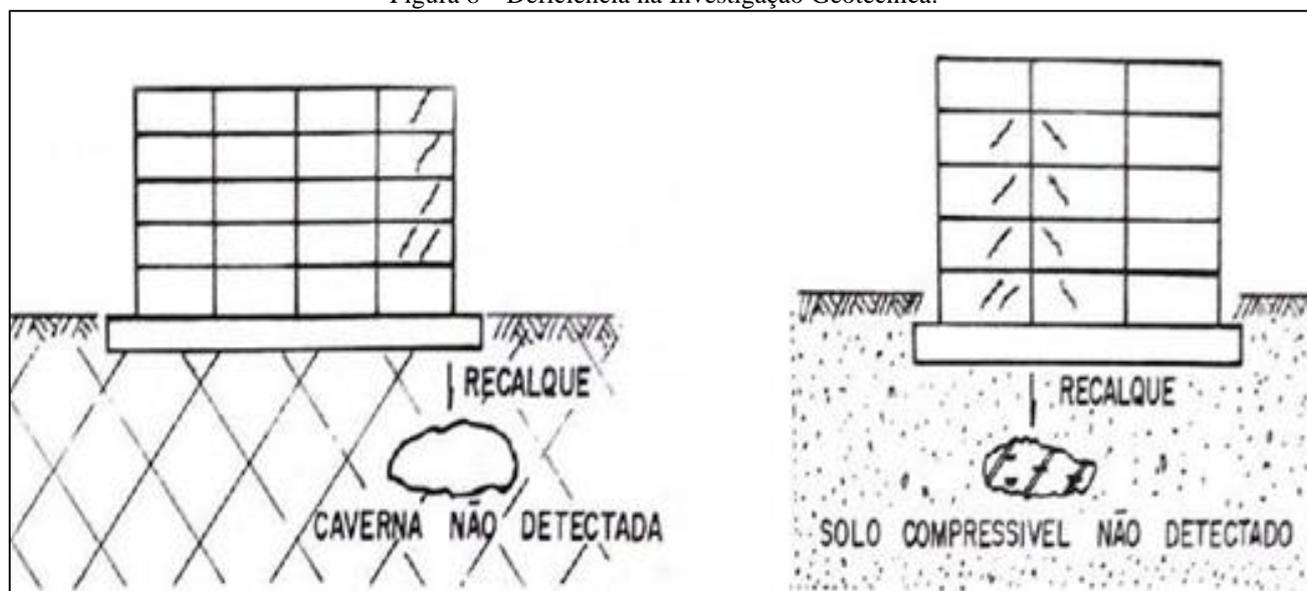
Fonte: Milititsky, Consoli e Schnaid (2015).

5.4 DEFICIÊNCIA NA INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA

Geralmente ocorre com frequência em obras de pequeno e médio porte, por motivos financeiros e econômicos, mais de 80% dos casos de recalque de fundações referem-se à ausência completa de investigações (teste de sondagem SPT), tendo como consequência a adoção de métodos e soluções irregulares no projeto. A ausência de sondagens pode ocasionar problemas futuros, pois o solo não investigado, ou mesmo superficialmente investigado, pode variar na sua composição, sendo possível ter mais de um tipo de solo no local (MILITITSKY; CONSOLI; SCHNAID, 2015).

Há grandes riscos localizados principalmente em cavernas (muito comum em regiões onde há rochas calcárias) e solos compressíveis ocasionam a movimentação das fundações e geram a ocorrência de trincas e fissuras, como mostra a figura 06.

Figura 8 – Deficiência na Investigação Geotécnica.



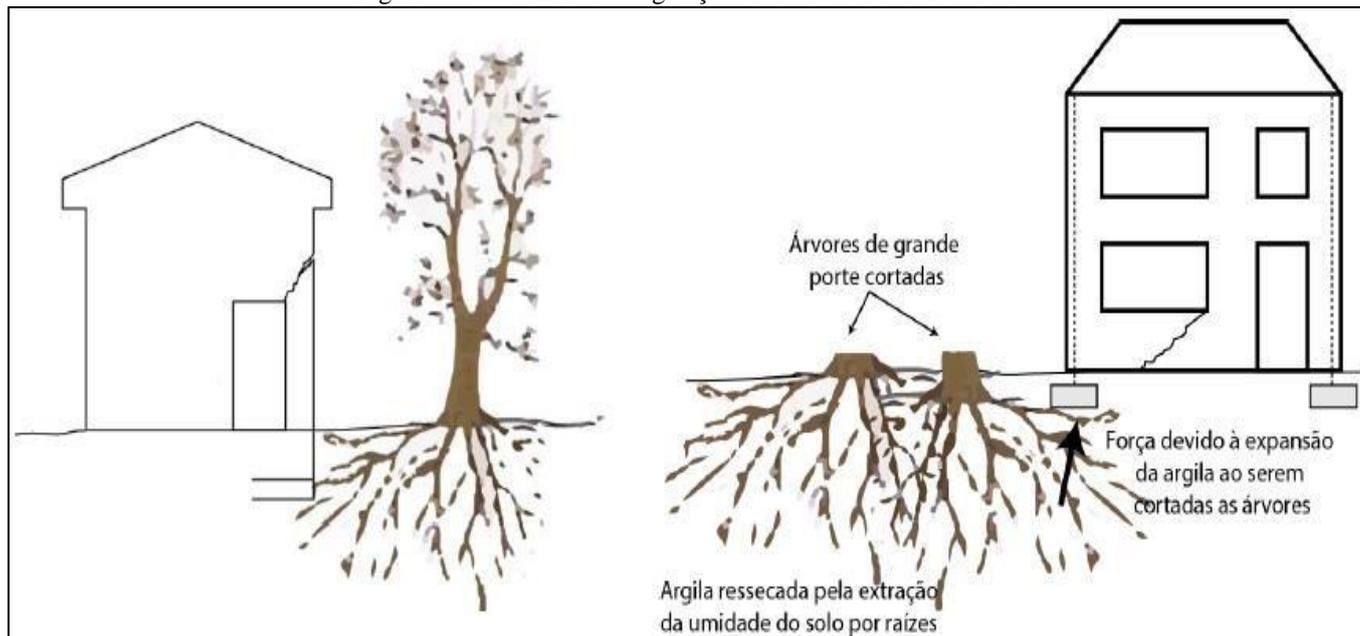
Fonte: Alonso (1991).

5.5 INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO

De acordo com Milititsky; Consoli; Schnaid (2015), as raízes das vegetações causam interferência física nas construídas quando a sua proximidade é ignorada, uma vez que para manter o seu crescimento, as raízes extraem água do solo, com isso, o teor de umidade será menor se comparado com a região onde não há raízes. Ainda segundo o autor, há diversos de fatores que contribuem na influência da vegetação, como: o tipo de vegetação presente, o tipo de solo do local, a distância da vegetação, o clima e o nível do lençol freático.

Cabe enfatizar que a presença de vegetação próxima a edificações, como paredes muros e fundações, podem contribuir significativamente para alteração da umidade do solo, absorvendo a água presente no mesmo, gerando recalque por adensamento, como mostra a figura 9.

Figura 9 – Influência da Vegetação na Ocorrência de Fissuras.



Fonte: Milititsky, Consoli e Schnaid (2015).

6 TIPOS DE REFORÇO PARA FUNDAÇÃO

Conforme Neves (2010), quando uma fundação apresenta mau desempenho na transmissão das tensões para o solo, seja devido a alterações nas condições do terreno, acréscimo de cargas ou ambas as situações, é necessário realizar reforços. Os reforços de fundação têm como principal objetivo aumentar a resistência original da estrutura, de modo a adequá-la às novas condições de contorno e aos critérios de segurança pré-estabelecidos. Isso permite que a estrutura seja capaz de suportar as cargas adicionais aplicadas e transmiti-las para camadas mais resistentes do solo.

O reforço de fundação é a melhor medida para intervir quando o solo, a fundação ou a estrutura não apresentam um desempenho satisfatório diante das cargas e tensões exercidas sobre eles. É possível que ocorram complicações nos materiais que compõem os elementos da fundação, como a corrosão das armaduras, por exemplo. Nesse caso, trata-se de uma patologia associada à estrutura e não à transmissão de carga da estrutura para o solo. Portanto, é recomendado que esses elementos passem por um processo de recuperação ou reforço para garantir a estabilidade e a segurança da edificação.

A escolha das técnicas a serem empregadas no reforço de fundações deve ser adequada à situação específica da estrutura e do solo. É crucial realizar levantamentos aprofundados das diversas técnicas disponíveis para garantir a eficiência e a recuperação da estrutura, como aponta Silva (2015). Em termos de soluções de reforço de fundações, existem muitas opções, que dependem da condição do problema e de sua causa real, como o tipo de solo, a urgência do serviço, a carga exercida e o espaço em que a estrutura se encontra.



É importante ressaltar que nos casos em que é necessário o reforço da fundação devido a patologias, os custos podem ser significativamente maiores do que os custos iniciais da obra, sem mencionar o impacto na reputação dos engenheiros e profissionais envolvidos. O tempo prolongado para identificar as causas reais, que pode resultar na evacuação de edifícios ou residências, é outro fator agravante. Como consequência, esse tipo de problema pode levar a empresa à falência, como alerta Milititsky (2015). Como já mencionado, a escolha do tipo de reforço a ser utilizado como solução definitiva varia de acordo com diversos fatores, incluindo o tipo de solo, o nível de carregamento, os custos, a urgência da intervenção e influências externas.

6.1 ESTACAS MEGA

É interessante notar que a prática de reforçar fundações remonta aos tempos dos romanos, porém, os primeiros exemplos de uso mais intensivo datam do século XIII, principalmente no contexto de restauro de catedrais. No entanto, não houve grandes avanços até cerca de 1900, quando a construção do metrô de Nova York deu início a uma nova era nesse campo.

No Brasil, o primeiro registro da utilização de estacas prensadas data de 13 de novembro de 1935, conforme mencionado por (DONADON, 2021).

De acordo com Schneider (2020), existem diversas situações que exigem o reforço de fundações, sendo uma das soluções mais comuns as estacas mega ou estacas de reação. Essas estacas são projetadas para suportar as cargas adicionais pelas quais o reforço foi solicitado. Esta técnica é amplamente utilizada devido à sua capacidade de dispensar demolições durante a execução, além de reduzir os impactos e vibrações no processo de construção.

Sobre as vantagens e desvantagem Schneider (2020) e Pereira (2015), enfatizam, tais como:

Vantagens:

- Baixo impacto, vibrações e ruídos;
- Fácil execução em locais pequenos e de difícil acesso de máquinas e pessoas;
- Imediato aumento da segurança da edificação após a cravação da estaca;
- Organização e limpeza do ambiente durante a execução, ou seja, não gera quantidade significativa de resíduos.

Desvantagens:

- Alto custo e tempo, devida à presença de tamanhos diferentes de estacas que serão utilizadas na construção, dependendo do terreno em que está localizado.

- Depende da produtividade de execução da mão de obra, existe a possibilidade de levar muito tempo para instalação de cada estaca.

6.2 TIPOS DE ESTACA MEGA

Os equipamentos utilizados para o emprego das estacas mega são de pequeno porte, pequena dimensão, pouco peso, para trabalharem em espaços confinados e de difícil acesso. Em condições favoráveis de trabalho, uma equipe pode cravar duas estacas por dia. Todas as estacas mega após finalizadas, transferem a carga da estaca para a estrutura pelo que é denominado carga de encunhamento, já definida na norma técnica. Devido à pequena dimensão desta peça, é contraindicado o uso de armadura tradicional e nos casos de estacas mega com carga de ruptura acima de 100 t. (Oliveira, 2016). Outra grande vantagem de armadura com fibras metálicas é evitar uma ruptura frágil da peça com consequências perigosas e imprevisíveis.

6.3 ESTACAS MEGA DE CONCRETO – PRÉ-MOLDADA

A estaca mega pré-moldada, sua composição trata-se de diversos segmentos de concreto cravados através de macacos hidráulicos. Geralmente os elementos apresentam as seguintes dimensões: 50 cm de comprimento por 25 cm de diâmetro com um furo de 8 cm no meio devido o método de centrifugação na fabricação. Quanto ao custo deste tipo de reforço, é aproximadamente 50% menor do que outras opções, como a estaca Mega metálica, metálica injetada.

Figura 10 – Estaca Mega Pré-moldada.

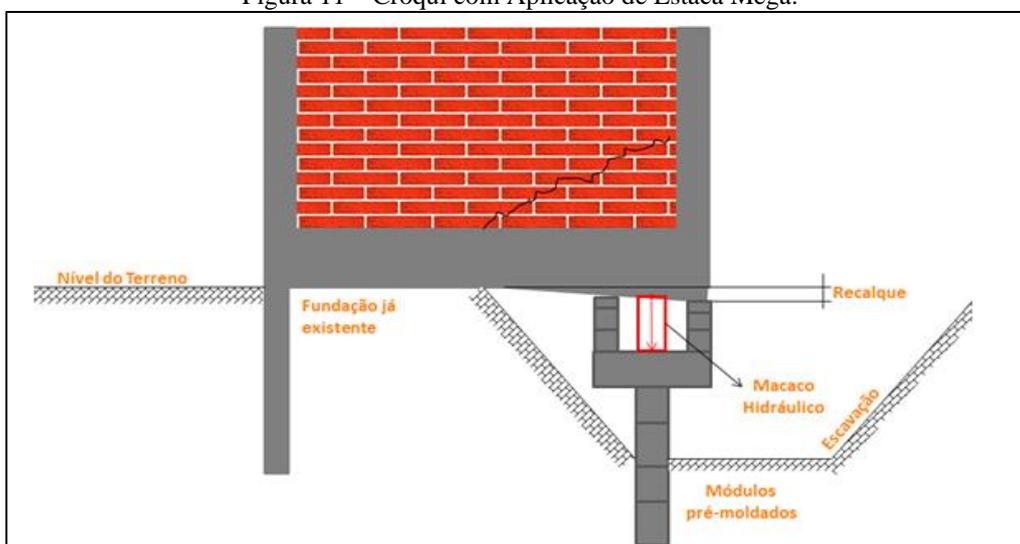


Fonte: Faraggi (2022).

O método de cravação da estaca Mega pré-moldada é realizado por meio da expulsão própria da estaca, o que resulta no aumento da pressão neutra no interior do solo, criando um relaxamento da cravação posteriormente. Esse é um importante aspecto do reforço que deve ser considerado pelos engenheiros e projetistas que desejam adotar esse tipo de técnica, como destacado por (OLIVEIRA, 2016).

É importante ressaltar que a estaca Mega é projetada para capacidades de até 10 metros e suporta uma carga de até 45 toneladas. No entanto, se estacas com comprimentos superiores a 10 metros forem utilizadas ou se atingirem camadas de solo de argila muito moles, a capacidade de carga do reforço pode diminuir devido ao efeito de flambagem. Este é um aspecto crucial a ser considerado durante o projeto e a execução do reforço de fundações com estacas Mega.

Figura 11 – Croqui com Aplicação de Estaca Mega.



Fonte: Schneider (2022).

Figura 12 – Aplicação de Estaca Mega.



Fonte: Schneider (2022).

6.4 ESTACAS MEGA METÁLICA

As técnicas de instalação desse tipo de estaca envolvem a cravação por cisalhamento do solo. Após a cravação, à estaca é preenchida com concreto armado com fibras, o que aumenta a resistência, estabilidade e o coeficiente de segurança da estrutura do reforço. Em seguida, é realizado o encunhamento do topo da estaca e para preenchimento dos vazios deixados entre o encunhamento e o corpo da estaca, é feita a concretagem da cabeça, conforme mencionado por Oliveira (2016). Esses procedimentos garantem uma integração sólida entre a estaca e a estrutura, proporcionando um reforço eficaz da fundação.

São tubos metálicos de diâmetro de 75 cm, sendo as ligações entre tubos feita através de roscas e luvas, que são utilizadas para a consolidação da estrutura da estaca, conforme foto abaixo:

Figura 13 – Elementos das Estacas Metálicas de Diâmetro de 75cm.



Fonte: Lima (2020).

Figura 14 – Estaca Mega Metálica Instalada.



Fonte: Fonseca (2020).



6.5 ESTACAS MEGA METÁLICA INJETADA

Tem a função de expulsar a terra embuchada dentro dos tubos metálicos das estacas injetável (MMI) e posteriormente injetar nata de cimento com pressão de até 30 kg/cm², formando um novo bulbo na ponta da estaca e aumentando a adesão entre a estaca e o solo no fuste. Quanto aos testes e medições realizados neste tipo de estaca, apontam um ganho de carga de trabalho da ordem de 50% comparada com estacas tradicionais.

Oliveira (2016), destaca as seguintes vantagens:

- Em casos em que a reação é limitada, a carga de cravação também fica, e é impossível garantir o coeficiente de segurança de 1,5 para a carga de trabalho. Exemplificando: num pilar com 30 t, ao cravarmos uma estaca metálica (MM) e a carga de cravação atingir estes 30 t, a estrutura começa a levantar e não é possível compatibilizar carga de cravação com carga de trabalho. Neste caso, podemos resolver de duas formas: cravar duas estacas MM com 30 t cada ou cravar uma estaca metálica injetada (MMI) com 30 t, limpá-la e injetar nata de cimento para que a carga de ruptura passe para ≈ 45 t, que garanta a carga de trabalho de 30 t. Além de tudo, o custo de uma estaca MMI, é menor que duas MM, pois existem os custos do bloco estrutural, reação excêntrica etc.;
- Outra vantagem é a possibilidade de se obter estacas com carga de ruptura e/ou de trabalho muito altas. Em alguns casos, a medição computadorizada, as estacas MMI ultrapassaram a carga de 120 t, tendo sido cravadas com 80 t e cunhadas com 55 t cada;
- Em obras emergenciais, com riscos inaceitáveis, as MMI configuram-se como não somente a melhor, mas a única solução;
- Similar à estaca ômega e outras, a MMI tem patente requerida.

6.6 ESTACA RAIZ

A história da Estaca Raiz remonta à Europa, considerada o berço de grande parte das tecnologias utilizadas na Engenharia Civil atualmente. Uma dessas tecnologias pioneiras teve origem na Itália, em Nápoles, no início dos anos 50, sob o nome de "Pali Radice" (Estaca Raiz). Inicialmente, o conceito de "Pali Radice" era de um reticulado onde as estacas estariam inclinadas em várias direções, transformando o solo em um "terreno armado", no qual as cargas seriam transmitidas através de blocos dimensionados como fundações diretas.

Com o tempo, esse conceito foi alterado, e as estacas escavadas injetadas passaram a ser consideradas estacas normais, previstas apenas com comprimentos maiores, nas quais se conta principalmente com o atrito lateral ou, em grande parte, com a mesma capacidade de trabalho em tração e compressão.

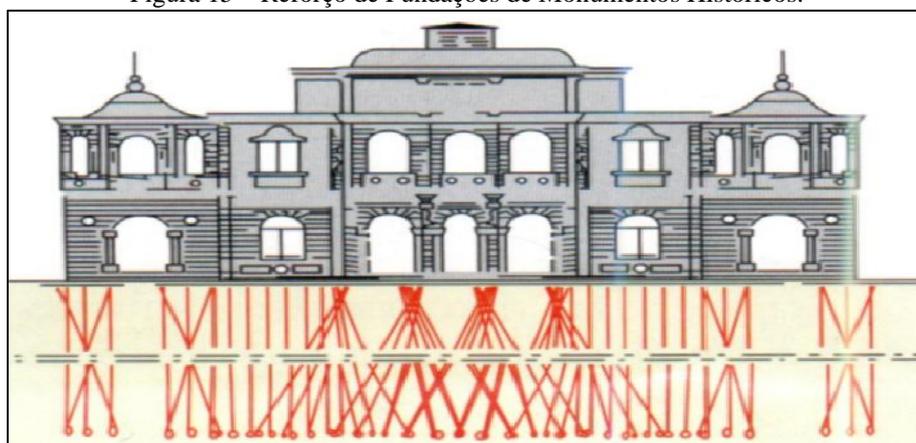
Sendo o primeiro modelo de estaca injetada de pequeno diâmetro, à estaca raiz foi concebida pelo Diretor Técnico da empresa FONDEDILE S.A., Engenheiro Fernando Lizzi, o qual requereu as primeiras patentes em 11/03/1952 sob o número 497.736 e em 29/12/1952 sob o número 502.416, (LIZZI apud SODRÉ, 1995). Essa técnica construtiva, originalmente desenvolvida objetivando sua utilização em reforço de fundações, promoveu uma completa mudança e grande ascensão desse campo de atuação da Engenharia Civil, solucionando diversos problemas não resolvidos satisfatoriamente no passado, tendo sido apresentada internacionalmente em 1970 por ocasião do X Convegno di Geotecnica, realizado em Bari, na Itália.

Alguns anos após o seu desenvolvimento, a prática e os resultados de provas de carga forneceram evidências convincentes e definitivas da eficiência do sistema construtivo da Estaca Raiz. Isso inevitavelmente levou à ampliação do seu campo de aplicação. A técnica italiana foi amplamente empregada no continente europeu, onde vários estudos e o aperfeiçoamento do seu processo construtivo têm sido frequentemente apresentados e desenvolvidos.

No Brasil, a tecnologia da estaca raiz foi introduzida na década de 70 pela empresa de engenharia BRASFOND S.A., que desde então vem aplicando-a em muitas obras. A partir dessa década, quando expiraram as primeiras patentes da estaca raiz, várias outras estacas similares, genericamente denominadas micros estacas, foram amplamente empregadas. Termos como mini estacas, estacas-ancoragens, estacas de pequeno diâmetro injetadas sob pressão, escavada-injetada, estacas injetadas ou uma combinação destes têm sido comumente utilizados para referir-se a elas.

O conceito inicial do professor Lizzi era criar um reticulado com estacas em várias direções, visando induzir a consolidação do solo e transformá-lo em um "terreno armado", para o qual as cargas seriam transmitidas por meio de fundação direta. No entanto, ao longo do tempo, esse conceito foi sendo modificado e as estacas raiz adquiriram um caráter de reforço de fundações já existentes. Um exemplo desse uso foi o trabalho realizado por Euller Magalhães da Rocha no Palácio da Liberdade em Belo Horizonte, conforme ilustrado nas figuras 13.

Figura 15 – Reforço de Fundações de Monumentos Históricos.



Fonte: BRASFOND (2022).



De forma sucinta, estaca raiz caracteriza-se como sendo aquela em que se aplicam injeções de ar comprimido imediatamente após a moldagem do fuste e no topo dele, concomitantemente com a remoção do revestimento. Usam-se baixas pressões (inferiores a 0,5MPa), que visam apenas garantir a integridade da estaca (BENATI, 2007).

Este procedimento contribui para a consolidação do terreno fissurado, compacta os terrenos fofos e provoca irregularidades no fuste, aumentando o atrito lateral, transformando o local em um “terreno armado” (AMANN, 2000).

Temos a definição segundo a NBR 6122:2022, que diz que a estaca raiz é uma estaca moldada "in loco", em que a perfuração é integralmente revestida em solo, por meio de segmentos metálicos que são rosqueados à medida que a perfuração é executada, sendo recuperada após a injeção. Entre suas principais características podemos destacar:

- Alta capacidade de carga com recalques muito reduzidos;
- Possibilidade de execução em áreas restritas e alturas limitadas, com perturbação mínima do ambiente circunstante;
- Execução em qualquer tipo de terreno e em direções especiais;
- Execução com utilização a compressão ou a tração;
- Pequeno diâmetro;
- Perfuração por processos rotativos revestidos com circulação de água, lama bentonítica;
- Sem base alargada;
- Após a concretagem o revestimento é retirado.
- Diversas são as vantagens a ela associadas, dentre as quais destacam-se:
- As dimensões reduzidas do equipamento permitindo o trabalho em locais de difícil acesso tais como: encostas, edificações com limitação de pé direito etc.;
- O processo rotativo de perfuração que evita vibrações diminuindo a possibilidade de danos em construções próximas;
- O fato de serem adequadas a quaisquer tipos de terrenos, pois mesmo naqueles com características precárias geram capacidade de cargas elevadas, com comprimentos não maiores do que 30,0m;
- O fato de resistirem de forma quase equivalente tanto os esforços de compressão como os de tração o que facilita a sua utilização em estruturas sujeitas a esforços alternados, tais como: torres de transmissão, pilares de pontes rolantes etc.

A possibilidade de execução, sem maiores transtornos de estacas inclinadas permitindo a absorção de esforços horizontais.

Desta forma, a estaca raiz confirmou-se como técnica moderna de fundações especiais e uma eficaz ferramenta na solução dos mais diversos e complexos problemas geotécnicos, sendo empregada em:

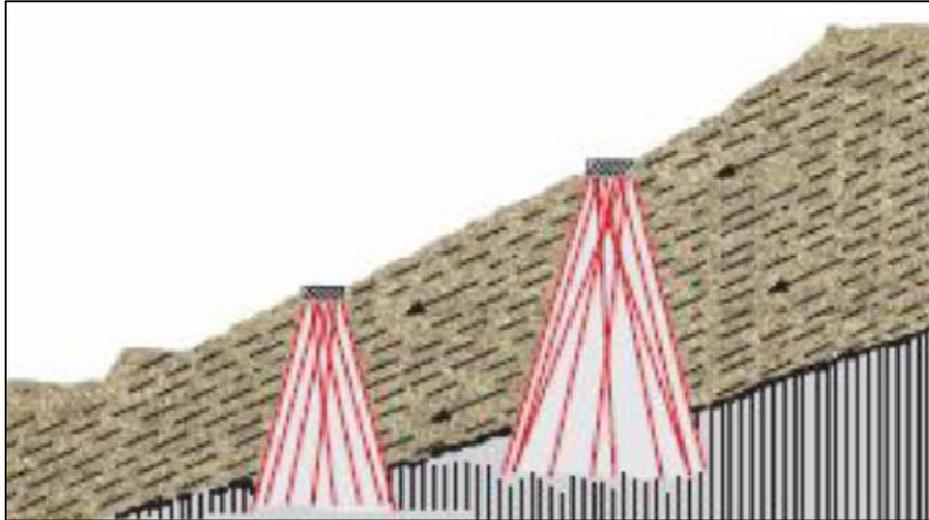
- Paredes de contenção para proteção de escavações nas imediatas vizinhanças de construções existentes (estacas justapostas);
- Contenção de taludes;
- Ancoragens de muro de arrimo e paredes diafragma;
- Tirante-raiz;
- Proteção para escavação de galerias de metrô em centros habitados;
- Fundações de máquinas sujeitas à vibração;
- Fundações de pontes;
- Fundação de bases de equipamentos em unidades industriais em operação;
- Reforço de cais de atracação;
- Fundações de difícil execução pelos métodos tradicionais quer pela ocorrência de matacões no subsolo, quer pela exiguidade de espaço em superfície e pé direito;

Conforme os conceitos de CABRAL (1986), com desenvolvimentos das técnicas executivas e dos conhecimentos da mecânica dos solos permitiram aumentar a capacidade de carga e a produtividade deste tipo de estaca. O autor também destaca, que a estaca raiz é uma solução muito utilizada para reforço de fundações, uma vez que podem vencer obstáculos como bloco de fundações já existentes, matacões e rochas.

Os equipamentos das estacas raiz possuem reduzidas dimensões, conseguindo trabalhar em áreas restritas com pé direito reduzido, como é o caso da recuperação de um elemento no interior de um edifício.

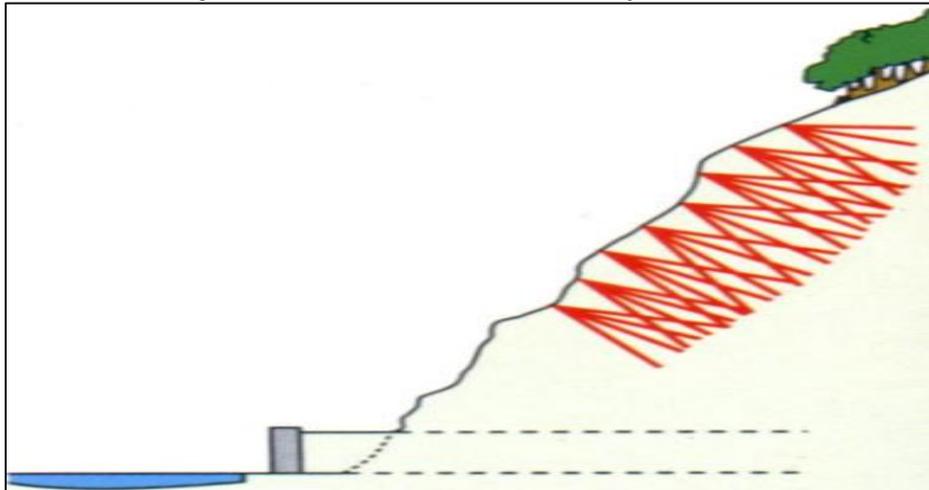
Um de suas aplicabilidades está relacionada a estabilização de encostas e contenção de taludes com solos instáveis, a aplicação do reticulado de estacas raiz funciona como parede de interceptação, destinada a conter a massa do solo descendente, como mostra a figura 16. A figura 17, temos o caso de formações rochosas, onde o reticulado trabalha como costura para a formação de uma parede ciclópica. A figura 18 registra a consolidação dos blocos de fundação de ponte. E a figura 19 apresenta uma subfundação de edifício com reticulado de estacas raiz para prevenir recalques decorrentes de escavação de galerias de metrô. Já na figura 20 temos a estrutura reticular tridimensional de estacas raiz para subfundação de edifício.

Figura 16 – Consolidação de Taludes em Terrenos Soltos.



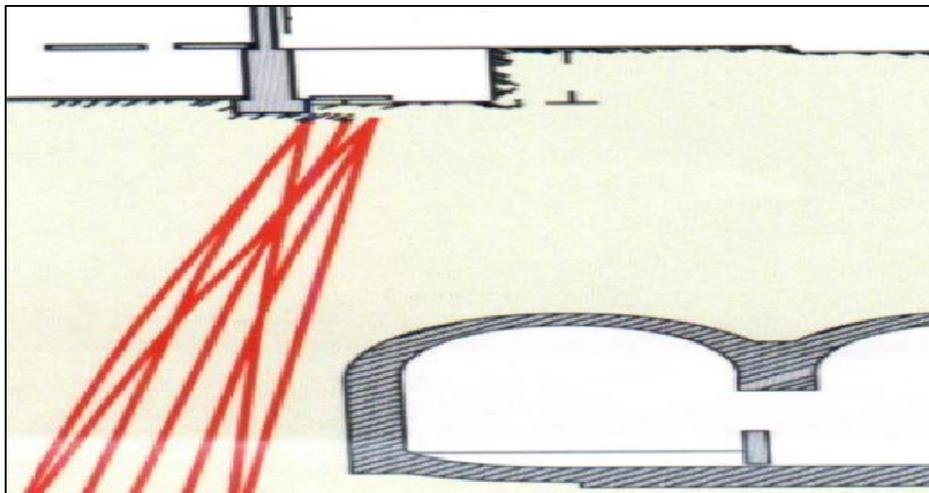
Fonte: BRASFOND (2022).

Figura 17 – Estrutura Reticular em Formação Rochosa.



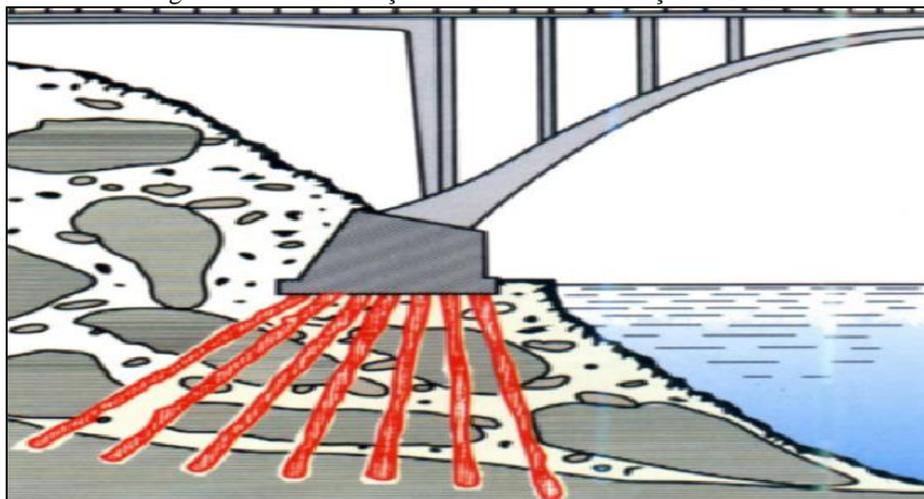
Fonte: BRASFOND (2022).

Figura 18 – Subfundação de Edifício com Reticulado de Estacas Raiz para Prevenir Recalques Decorrentes de Escavação de Galerias de Metrô.



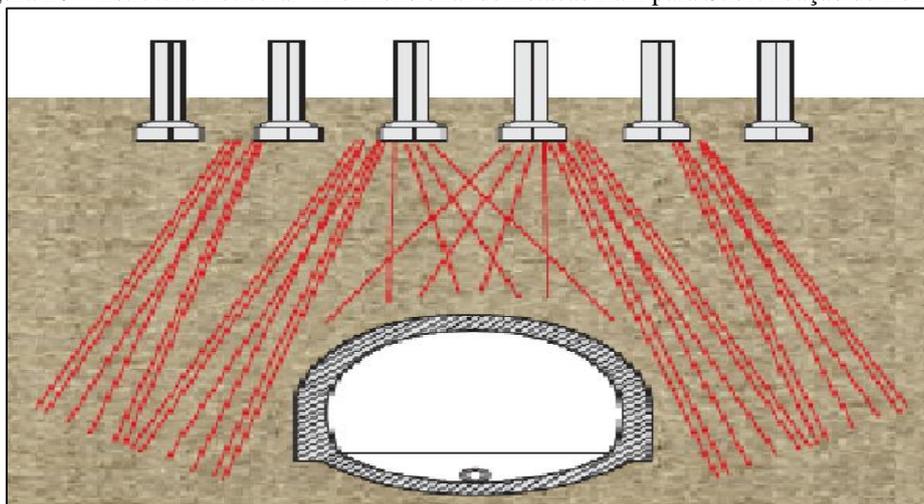
Fonte: BRASFOND (2022).

Figura 19 – Consolidação dos Blocos de Fundação de Ponte.



Fonte: BRASFOND (2022).

Figura 20 – Estrutura Reticular Tridimensional de Estacas Raiz para Subfundação de Edifício.

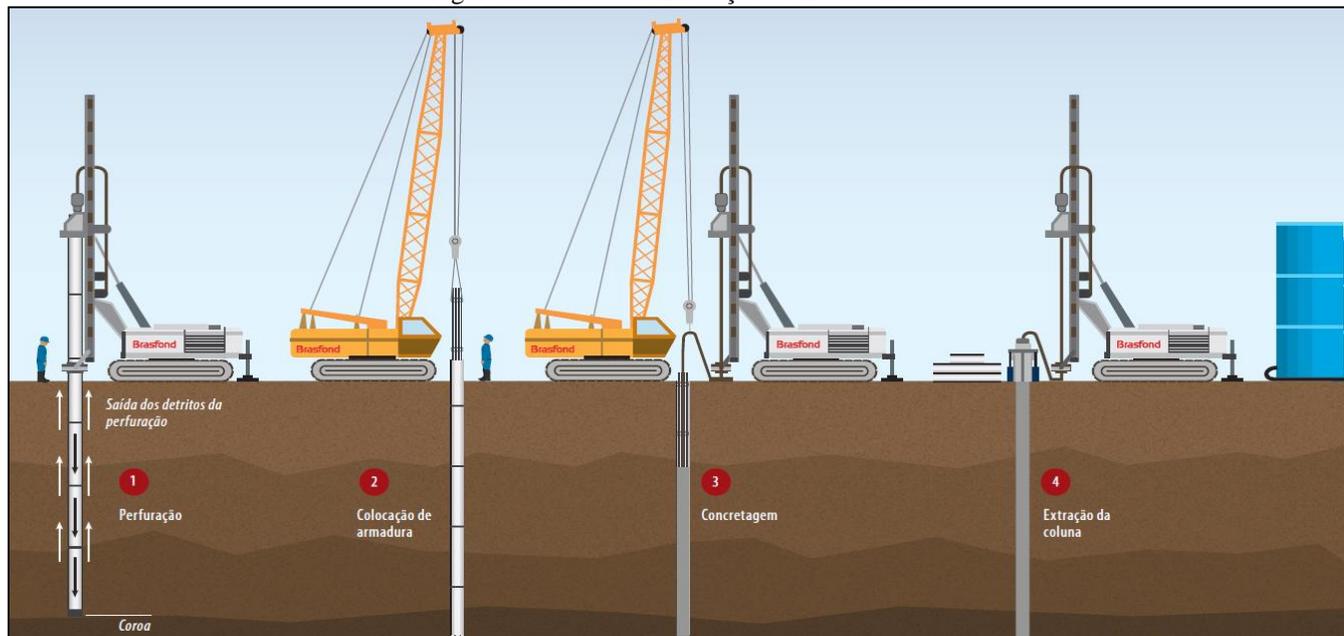


Fonte: BRASFOND (2022).

6.7 PROCESSO DE EXECUÇÃO DA ESTACA RAIZ

A seguir temos o processo executivo da estaca raiz, desempenhado pela empresa BRASFOND (2022).

Figura 21 – Fases de Execução da Estaca Raiz.



Fonte: BRASFOND (2022).

De forma detalhada temos:

- **Perfuração:** a perfuração é executada por rotação, com revestimento contínuo do furo e com auxílio de um fluido em circulação (geralmente água). O revestimento possui na base uma coroa dotada de pastilhas de metal duro, de diâmetro ligeiramente superior ao do revestimento. Os detritos resultantes da perfuração são trazidos à superfície pelo fluido em circulação através do interstício anelar que se forma entre o tubo e o terreno. Isto determina que o diâmetro acabado da estaca seja sempre maior que o diâmetro nominal do instrumento de perfuração.

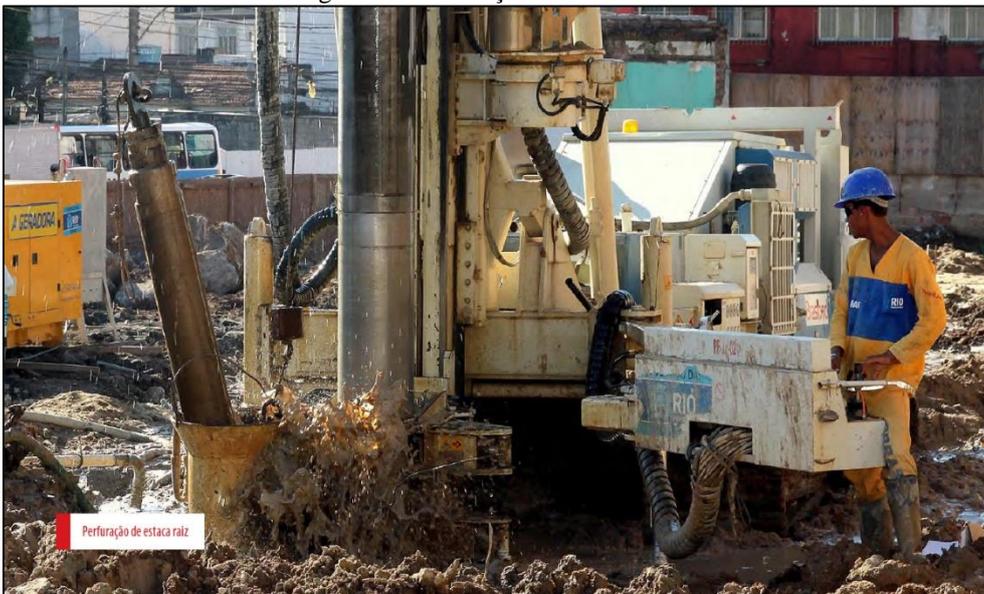
À medida que prossegue a perfuração, o revestimento metálico é inserido no terreno e os vários segmentos são ligados entre si por juntas rosqueadas. No caso de perfurações em rocha, esta é normalmente feita utilizando martelo de fundo a roto-percussão, até a cota de projeto.

Figura 22: Perfuração da Estaca Raiz.



Fonte: BRASFOND (2022).

Figura 23: Perfuração da Estaca Raiz.



Fonte: BRASFOND (2022).

- **Colocação da armadura:** terminada a perfuração, coloca-se a armadura metálica no interior do revestimento. Esta pode ser constituída de uma ou mais barras de aço com aderência melhorada, de várias barras montadas em gaiolas ou de um tubo. No caso de revestimentos parciais, a armadura deverá dispor de roletes centralizadores para evitar que esta remova o solo ou fique fora de posicionamento.

- **Colocação do material de preenchimento:** o tubo de concretagem é introduzido até o fundo da coluna de perfuração e através dele é lançada a argamassa de cimento. A argamassa, lançada de baixo para cima, garante que o fluido de perfuração seja deslocado para fora e seja substituído pela própria argamassa. Durante esta operação o furo permanece sempre revestido e, portanto, a operação se realiza com o máximo de segurança.

Figura 24: Concretagem da Estaca Raiz.



Fonte: BRASFOND (2022).

- **Extração da coluna:** uma vez que o tubo de perfuração esteja preenchido de argamassa, procede-se a extração da coluna de perfuração, ao mesmo tempo em que se aplica ar comprimido, nos casos em que as características do terreno exigirem.

7 ESTIMATIVA DA CAPACIDADE DE CARGA

A capacidade de carga P_r (carga de ruptura) à compressão de uma estaca raiz pode ser estimada em função dos resultados das sondagens de reconhecimento à percussão com medidas de SPT, executadas de acordo com a norma NBR-6484:2020 da ABNT, pela fórmula seguinte:

$$P_r = \alpha N_p A_p + \beta NPL$$

Onde:

α = coeficiente que depende do tipo de solo onde se situa a ponta da estaca.

N_p = média dos valores dos índices de resistência à penetração (SPT) determinada a um metro acima e a um metro abaixo da ponta da estaca. Os valores de SPT superiores a 40 devem ser tomados iguais a 40.



Ap = área da ponta da estaca.

β = índice de atrito lateral.

N = média dos valores dos índices de resistência à penetração (SPT) medida ao longo do fuste da estaca.

Os valores de SPT superiores a 40 devem ser tomados iguais a 40.

P = perímetro do fuste da estaca.

L = comprimento útil da estaca.

A carga admissível P_a da estaca-raiz será estimada por:

$$P_a = P_r/2$$

Quadro 03 – Comparativa dos Tipos de Reforço Estrutural

Tipo de Reforço	Local de aplicação	Capacidade de carga (tf)	Produção	Pontos negativos	Pontos positivos	Valor / Custos
RAIZ	Fundações em locais de difícil acesso, como interior de edificações; Fundações de terrenos com grande densidade de matacões (blocos de rocha); Fundação e/ou reforço de equipamentos industriais; Estabilização de encostas; Paredes de contenção;	10 a 180 tf	30 metros diários	custo elevado pelo seu alto consumo de cimento e ferragens para as armaduras	Ausência de vibrações	O valor médio, incluindo mão de obra e materiais, é de aproximadamente R\$290,00 por metro de estaca.
MEGA	Reforço à fundação já existente ou para correção de patologias, como um recalque diferencial da estrutura. (piscinas, muros, casas, edificações)	As estacas mega de concreto têm sua carga de cravação limitada a 45 t. para estacas com comprimento inferior a 10 m.	50 metros diários	Alto custo e tempo, devida à presença de tamanhos diferentes de estacas.	Baixo impacto, vibrações e ruídos; Fácil execução em locais pequenos e de difícil acesso Imediato aumento da segurança da edificação	O valor médio, incluindo mão de obra e materiais, é de aproximadamente 25 a 55 reais por metro.

<p>VIGA DE ALVANCA</p>	<p>Travamento de sapatas ou blocos com cargas excêntricas</p>	<p>Conforme dimensionamento do projeto</p>	<p>Conforme habilidade da equipe de trabalho, que normalmente é composta por 4 colaboradores com produção diária de 10 m lineares.</p>	<p>A ferragem corte/dobra não tem a pronta entrega.</p>	<p>Não é necessário executar estaca de reforço e não há taxa de mobilização de equipamento</p>	<p>O valor está relacionado ao tipo de viga, com valor aproximado de R\$ 1780,00 m³</p>
-------------------------------	---	--	--	---	--	--

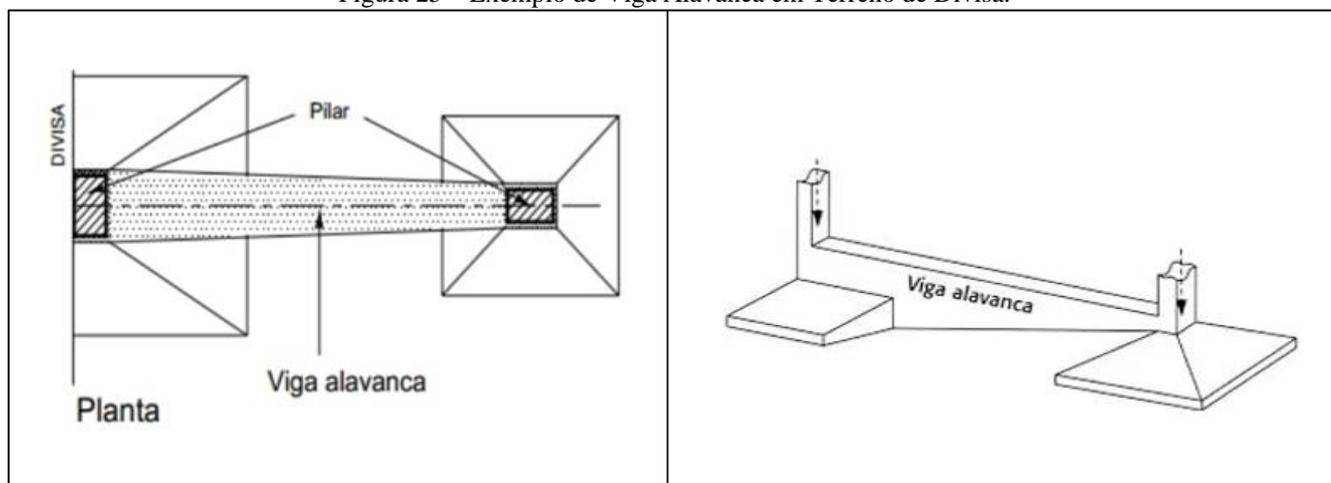
Fonte: Acervo Pessoal do Autor.

7.1 VIGAS ALAVANCAS

Uma viga alavanca é uma estrutura em concreto armado projetada para receber cargas excêntricas e distribuí-las, a fim de conter o momento fletor e gerar um equilíbrio de forças em fundações rasas ou profundas. Essa viga é projetada para distribuir cargas excêntricas, muitas vezes provenientes de fundações de muros de divisa ou até mesmo cargas verticais da estrutura principal da edificação.

Em situações em que o elemento estrutural recebe a carga de um pilar na divisa e o centro de gravidade do pilar não coincide com o centro de gravidade dos elementos estruturais de fundação, como sapatas ou blocos, o solo não recebe as cargas distribuídas corretamente. Nesses casos, uma solução comum é a utilização de uma viga de equilíbrio ou viga alavanca. Essa viga redistribui as cargas de forma adequada, garantindo o equilíbrio das forças e a estabilidade da fundação.

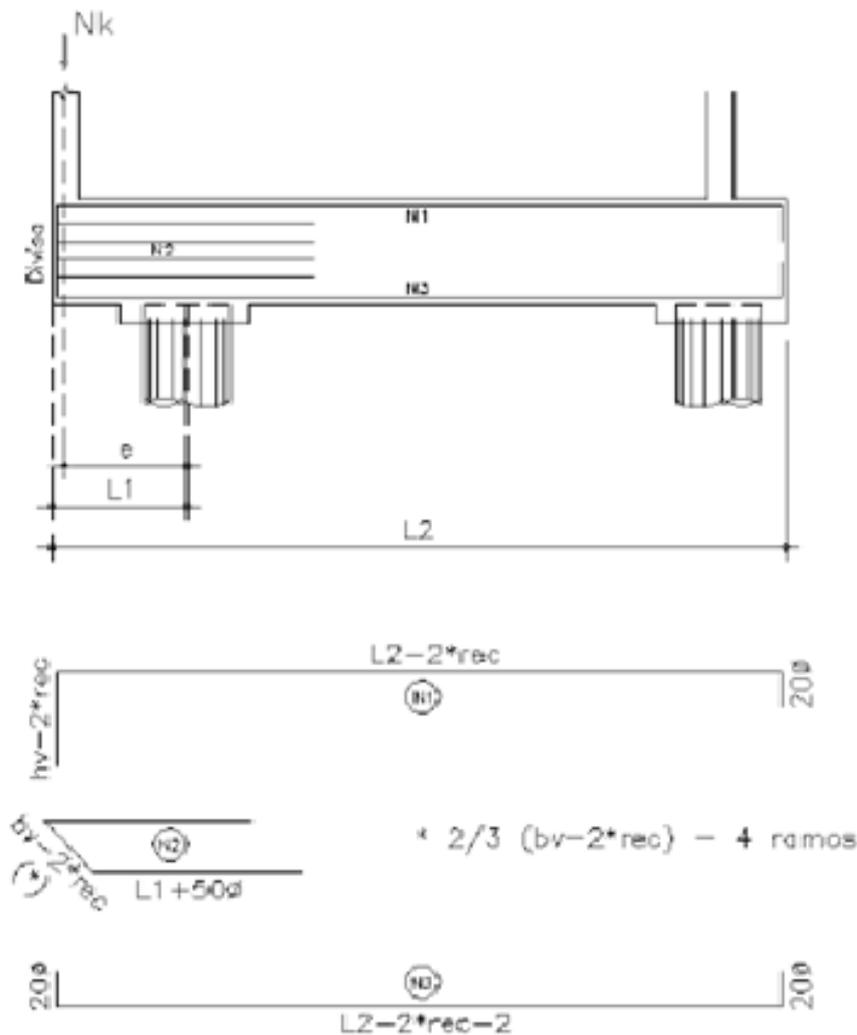
Figura 25 – Exemplo de Viga Alavanca em Terreno de Divisa.



Fonte: Acervo Pessoal do Autor.

Figura 26 – Dimensionamento de Vigas Alavancas em Muro de Divisa.

No caso de pilares próximos a divisa, onde não é possível a execução de fundação, usamos a viga alavanca para levar a carga até a estaca.



N1 – Armação negativo $Md = 1,4 * Nk * L1$

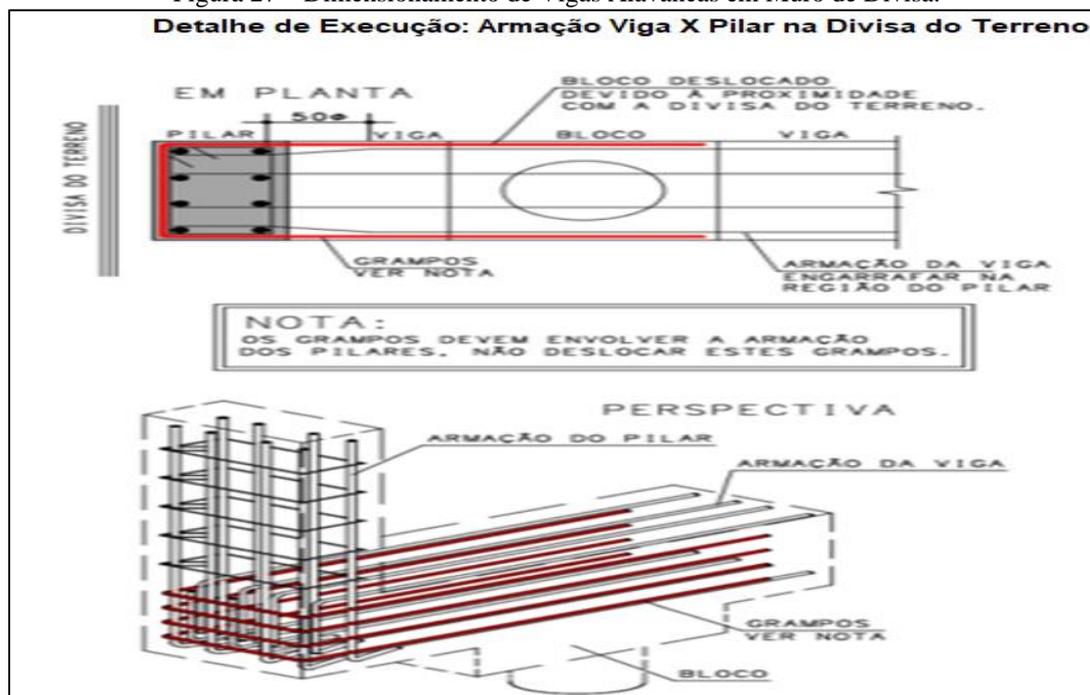
N2 – Grampos $As = \frac{Nk}{m+2500}$ É Nk mesmo Estribos - $\phi 5$ c/20

N3 – Armação positiva $As \geq \begin{cases} \frac{Asneg}{5} \\ 2\phi 10 \end{cases}$

Verificar a existência de outros esforços na viga para complementar a armação.]

Fonte: Acervo Pessoal do Autor.

Figura 27 – Dimensionamento de Vigas Alavancas em Muro de Divisa.



Fonte: Acervo Pessoal do Autor.

Vigas alavancas projetadas como reforço de fundação, que nesse caso a viga serve como reforço estrutural, seu objetivo é transferir ou absolver cargas excêntricas de um elemento de fundação localizado erroneamente in loco, e com isso o centro de gravidade do elemento de fundação não irá coincidir com o elemento estrutural nesse caso um pilar. No caso da viga alavanca como reforço estrutural é necessário que alguns erros de execução ocorram na obra.

Diante disso é necessário uma atenção redobrada na hora da marcação, a presença de um profissional de topografia é imprescindível, para a locação do gabarito e também de todos os recuos da edificação em relação a rua, além de fazer as verificações do plano altimétrico e também das cotas dos terrenos vizinhos e da própria edificação, com isso temos a certeza de que a edificação estará na posição correta e também se não há necessidades de escoramento permanente ou provisória das edificações vizinhas. Após todas as marcações topográficas do gabarito e as devidas cotas ajustadas conforme projetos, é a hora de efetuar a marcação do gabarito conforme o projeto de locação, após essa etapa recomenda-se uma conferência por um outro engenheiro afim de evitar erros.

Mesmo com todas essas etapas executadas, ainda temos chance de termos erros na execução das estacas, que por muitas das vezes é pelo fato do solo ser ruim e o equipamento que vai executar a estaca se move no momento da execução, outro erro recorrente é na hora da marcação do piquete no solo onde a pessoa responsável por essa atividade acaba pegando referencias erradas do gabarito, ou erro na interpretação do projeto.



8 ESTUDOS DE CASO – APLICAÇÕES PRÁTICAS

8.1 REFORÇO ESTRUTURAL COM ESTACA MEGA

Local: São Paulo – Capital

Edificação: Comercial grande porte

Estrutura: Muro perimetral da edificação – 149 metros lineares

8.1.1 Observações

1. O muro todo apresenta recalques discretos generalizados como mostrado nas fotos anexas, talvez influenciados pelas obras do Terminal de ônibus e da Estação do Metrô de Pinheiros, já há tempo concluídas.
2. O muro apresenta alguns sinais discretos localizados de desaprumo externo nos locais onde há árvores internamente e junto ao muro de divisa, como mostrado nas fotos anexas, talvez influenciados pelo empuxo do terreno e principalmente crescimento das raízes destas árvores, de qualquer forma também influenciadas pelas obras do Terminal de ônibus e da Estação do Metrô de Pinheiros. Este desaprumo acontece mais localizado entre a Estaca 05 e Estaca 10 do projeto anexo e que tem como principal causa o empuxo das raízes das árvores existente do outro lado do muro.
3. O muro apresenta alguns desalinhamentos no prumo das paredes nas juntas de dilatação previstas e que podemos considerá-las normais pois foram previstas com esta finalidade, permitir a livre movimentação sem ruptura no muro.
4. O muro em toda sua extensão apresenta trincas e fissuras principalmente inclinadas mostrando que o alicerce de apoio todo está sofrendo recalques de maneira irregular.
5. Como relatado, o muro em toda sua extensão apresenta trincas e fissuras principalmente inclinadas mostrando que o alicerce de apoio todo está sofrendo recalques de maneira irregular, somente que desaprumo do muro para o lado da calçada somente acontece onde há árvores na parte posterior do muro, jardim do Condomínio. O desnível do jardim para a calçada externa não ultrapassa 1,15m o que consideramos pouco para este empuxo de terreno estar causando o desaprumo que o muro está apresenta nesta região hoje.

Consideramos que as raízes das árvores estão causando esta movimentação vertical localizada do muro.

8.1.2 Recomendações

- A. Como todo indica o problema mais abrangente é o dos recalques diferenciais que estão ocorrendo ou que já ocorreram, a nossa recomendação neste caso é de se fazer um calçamento dos alicerces do muro com estacas de reação (segmentos de concreto) em toda a sua extensão conforme o projeto de reforço em anexo.
- B. Para o caso em que o muro está se inclinando na direção do terminal de Ônibus, recomendamos abrir uma vala com largura de 0,80m e altura de 1,00m ao longo do lado interno do muro e somente em frente a área das árvores, cortar tudo que for raízes existentes e posteriormente refazer o aterrar com solo limpo.
- C. Finalmente reparar as trincas e fissuras existentes de forma convencional para controle do comportamento destas no futuro.

Figura 28 – Vista da Trinca no Muro.



Fonte: Fonte: Acervo Pessoal do Autor.

Figura 29 – Vista da Trinca no Muro.



Fonte: Acervo Pessoal do Autor.

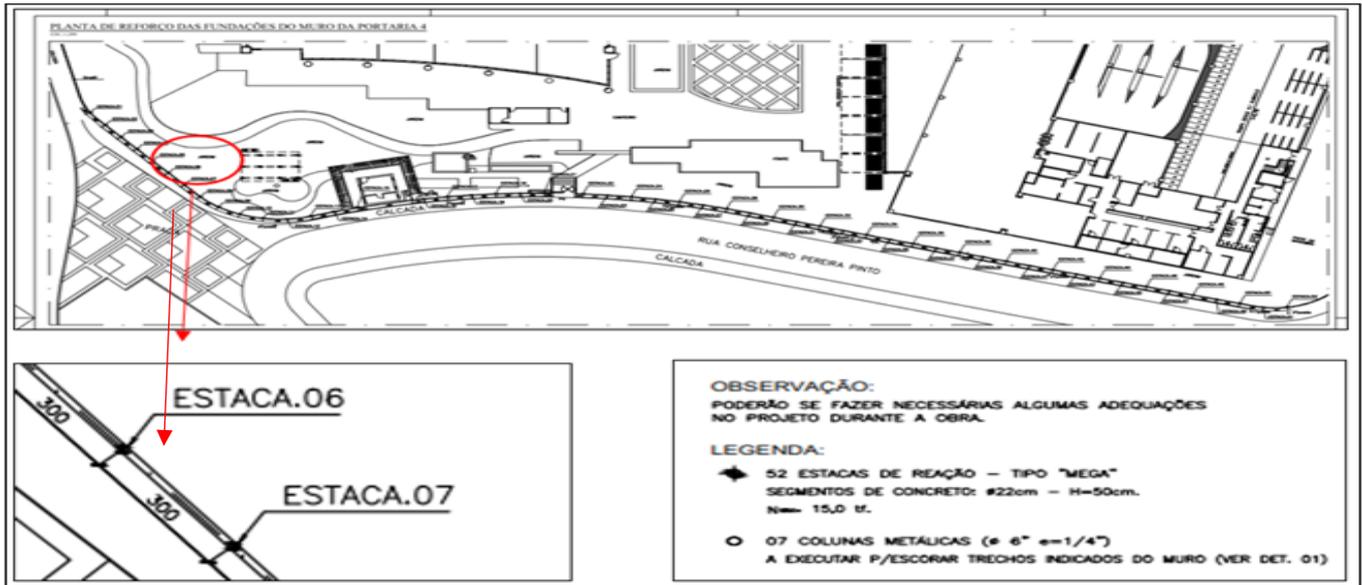
Figura 30 – Vista da Trinca no Muro e Escoramento.



Fonte: Acervo Pessoal do Autor.

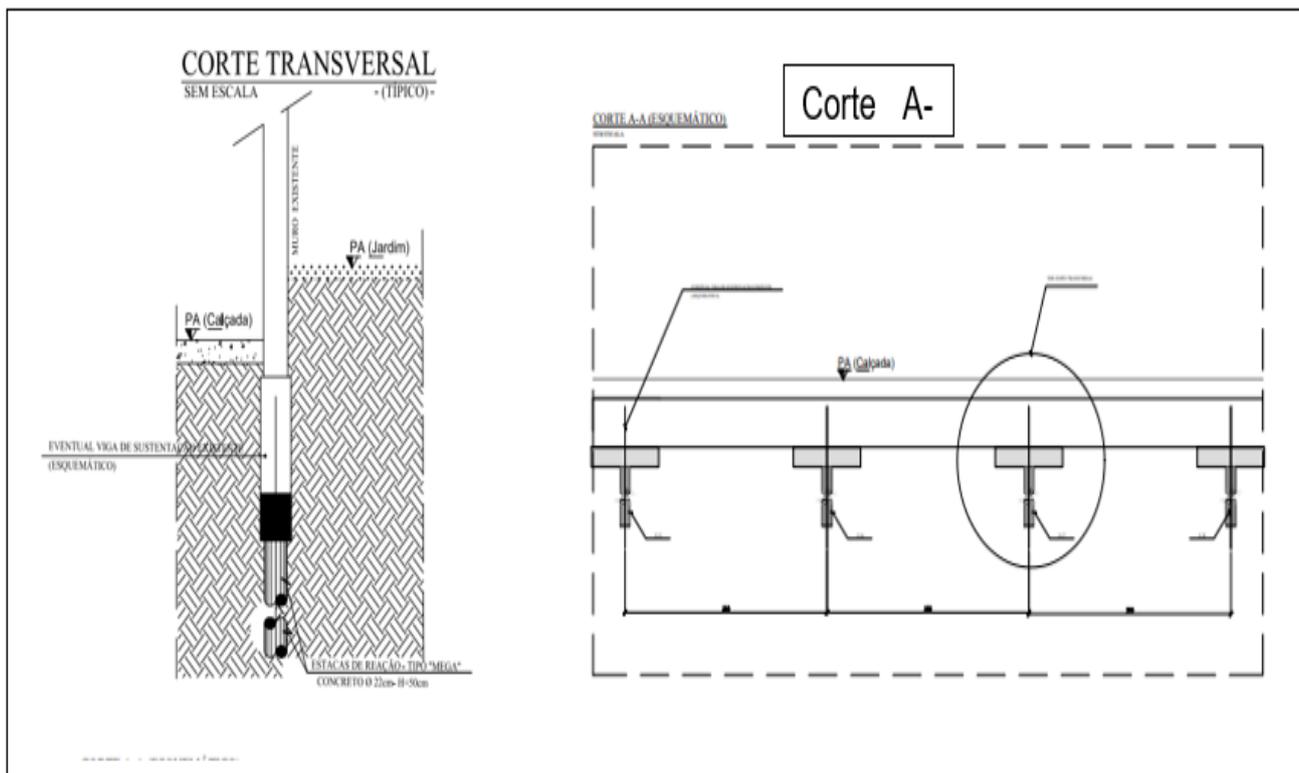
8.1.3 Distribuição das Estacas Mega

Figura 31 – Projeto com a Distribuição das Estacas.



Fonte: Acervo Pessoal do Autor.

Figura 32 – Fonte: Acervo Pessoal do Autor.



Fonte: Acervo Pessoal do Autor.

8.1.4 Obra Concluída – Estaca Mega

Figura 33 – Obra Concluída com Reforço de Estaca Mega.



Fonte: Acervo Pessoal do Autor.

Figura 34 – Obra Concluída com Reforço de Estaca Mega.



Fonte: Acervo Pessoal do Autor.

Figura 35 – Obra Concluída com Reforço de Estaca Mega.



Fonte: Acervo Pessoal do Autor.

8.2 REFORÇO ESTRUTURAL COM VIGAS ALAVANCAS

Cidade: São Paulo - SP

Projeto: Apartamentos de interesse social HIS

Tipo de Fundação: Hélice contínua

Tipo de Estrutura: Alvenaria Estrutural com 14 pavimentos

Esse case que será apresentado nesse trabalho, refere-se há um erro de locação de todas as estacas, onde a equipe de engenharia não contratou uma equipe de topografia para locação do gabarito e também das cotas de níveis do terreno dos vizinhos e também da própria edificação. Para a execução das estacas a equipe de engenharia acreditava que a locação estavam corretamente, porém quando foram fazer a locação dos gastalhos que ficam engastados nos blocos de fundação, constatou-se uma grande divergência em todas as estacas que até o momento estavam arrasadas, com isso gerou-se uma dúvida e uma equipe de topografia foi até o local fazer a conferência dessas estacas e dos arranques dos pilares. O topografo constatou que as estacas tinham sido locadas erroneamente, e a partir dali era necessário acionar os projetistas de fundação e de estrutura.

Primeiro passo foi arrasar todas as estacas da edificação e não concretar nenhum bloco para que pudessem fazer todo o travamento dos blocos entre si, e evitar um gasto maior com arranques, sem contar

que esses materiais aço principalmente não estavam na obra, pois teriam que ser dimensionado pelos projetistas, após 30 dias de análise e conferência de todas as estacas, a obra teve um retorno de todos os reforços necessários , todos os blocos teriam que ter uma viga alavanca conforme figura 33.

Foram aproximadamente 90 vigas alavancas para que a edificação fosse construída com a locação das estacas erradas, e a concretagem teve que ser única pois eram muitas vigas alavancas juntas, e muitas armações com barras de diâmetro de 16mm, 20mm e 25mm, abaixo segue foto da fundação momento antes da concretagem.

Figura 36 – Projeto e Locação das Vigas Alavancas.



Fonte: Acervo Pessoal do Autor.

Figura 37 – Detalhe de Armação das Vigas Alavancas



Fonte: Acervo Pessoal do Autor.

Figura 38 – Detalhe de Armação das Vigas Alavancas.



Fonte: Acervo Pessoal do Autor.



9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As investigações do subsolo estão intrinsecamente relacionadas às causas mais frequentes de patologias associadas às fundações, uma vez que o solo é o meio que irá suportar as cargas transmitidas pela fundação. Portanto, a identificação e o comportamento do solo são essenciais para a solução de qualquer problema relacionado.

Para construções comuns de pequeno porte, algumas propriedades do solo podem ser desconsideradas devido à falta de necessidade de conhecê-las especificamente. Nesses casos, geralmente são realizados estudos de sondagem para obter informações básicas sobre o solo. No entanto, em situações em que ocorrem patologias, é essencial conhecer detalhadamente os tipos de solo nos quais a obra está apoiada, o que pode exigir a realização de ensaios de laboratório específicos. Esses ensaios fornecem dados mais precisos sobre as características do solo, possibilitando uma análise mais detalhada e uma melhor tomada de decisão em relação às soluções para os problemas de fundação.

As forças que serão transmitidas para o solo ocorrem devido ao contato entre as partículas, o que pode gerar forças inclinadas com componentes verticais e horizontais. No dimensionamento das fundações, são importantes as tensões às quais os solos estão submetidos, divididas por uma área de solo. As forças verticais originam tensões normais de compressão, enquanto as horizontais geram tensões de cisalhamento.

Embora o Standard Penetration Test (SPT) não seja o método de sondagem mais perfeito, é o mais amplamente utilizado no Brasil e em todo o mundo, sendo reconhecido como sondagem a percussão devido à sua forma de execução. A sondagem do solo desempenha um papel crucial nas construções, pois permite identificar indicadores importantes, como a densidade do solo, a consistência dos solos coesivos e a resistência do solo com base nos resultados da sondagem. Essas informações são fundamentais para o projeto e dimensionamento das fundações, garantindo a segurança e estabilidade das estruturas construídas.

Os solos colapsíveis são compostos por solos porosos não saturados que, quando inundados, sofrem variação volumétrica devido à expulsão de ar e rearranjo das partículas. Essa característica pode resultar em recalques diferenciais, causando fissuras e trincas em edificações, e em casos mais graves, colapsos estruturais. Para lidar com solos colapsíveis, é recomendado o uso de fundações profundas, de modo a apoiar a estrutura em um solo mais estável. Existem técnicas para o tratamento de solos colapsíveis que podem viabilizar o uso de fundações diretas. Uma delas é a substituição do solo, que envolve a remoção da camada de solo colapsível e sua substituição por um novo solo, seguida pela compactação deste novo solo para atingir um grau de compactação entre 95% e 100%. Essa técnica ajuda a estabilizar o solo e reduzir os riscos associados aos solos colapsíveis, permitindo o uso de fundações diretas com maior segurança.

Os solos colapsíveis representam frequentemente um desafio difícil de resolver, uma vez que geralmente ocorre uma saturação do solo, resultando em adensamento da água no subsolo. Muitas vezes, a



presença de solo saturado não é identificada devido aos custos elevados das sondagens, especialmente em obras de pequeno porte.

Uma fundação bem dimensionada deve considerar um fator de segurança adequado, prevendo as possíveis patologias que podem ocorrer, como rupturas e recalques admissíveis conforme especificado no projeto, de forma a garantir que a estrutura não seja prejudicada. Em relação ao processo de execução do método de reforço e sua viabilidade, as Estacas Mega são uma opção interessante. Como são introduzidas no solo por meio de uma bomba hidráulica, não causam vibrações significativas, o que reduz os riscos de instabilidade relacionados à precariedade das fundações existentes. Isso torna as Estacas Mega uma solução viável e eficaz para o reforço de fundações defeituosas.

A Estaca Mega é frequentemente utilizada para o reforço de fundações afetadas por recalques diferenciais na estrutura. Sua aplicação é altamente viável devido à ausência de produção de vibrações durante o processo de cravação, o que evita possíveis instabilidades na fundação existente. Além disso, a Estaca Mega pode ser executada em espaços pequenos e de difícil acesso, o que a torna uma opção versátil para diversas situações.

Um dos principais benefícios da Estaca Mega é que não há um limite específico de profundidade de cravação. A profundidade da estaca dependerá da estabilização da relação solo-estrutura, garantindo que a estaca seja apoiada na profundidade adequada para suportar a carga da estrutura. Isso proporciona uma maior flexibilidade no dimensionamento e na execução do reforço de fundações com Estacas Mega.



REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6122:2022 - Projeto e execução de fundações. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

_____. NBR 6484:2020 - Execução de sondagens de simples reconhecimento dos solos. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2020. 8 p.

ALONSO, U. R. Previsão e controle das fundações. São Paulo: Edgard Blucher, 1991.

AMANN, K.A.P. (2000) – Avaliação crítica de métodos de previsão de carga de ruptura aplicados a estacas raiz. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da USP, São Paulo, 233 p. Acesso em: 11 fev. de 2024.

AZEREDO, H. A. O edifício até a sua cobertura. São Paulo: Edgar Blucher Ltda, 1997. 188p.

BENATI, J.B. (2007) – Metodologia de execução e determinação da capacidade de carga de estacas de pequeno diâmetro cravadas e injetadas. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 22-45 p. Acesso em: 11 fev. de 2024.

BRASFOND. Fundações Especiais S.A. (2022). Estacas Raiz. catálogo, 36p.

BARROS, C. Apostila de Fundações: técnicas construtivas. Pelotas: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense, 2011. Disponível em: <https://dspace.mackenzie.br/bitstream/handle/10899/29356/ANDR%C3%89%20TAVARES%20TEIXEIRA%20-%20PROTEGIDO.pdf?sequence=1>. Acesso em: 11 fev. de 2024.

CABRAL, D. A. (1986) – O uso das estacas raiz como fundações de obras normais. VIII congresso brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, Porto Alegre, RS, pp. 71-77.

CALISTO, A; KOSWOSKI, R. Efeito do recalque diferencial de fundações em estruturas de concreto armado e alvenaria de vedação: estudo de caso. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

CAPUTO, H. P. Mecânica dos solos e suas aplicações. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 2, 2012.

DONADON, E. F. Comportamento de estacas “Mega” de concreto, implantadas em solo colapsível. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/258206/1/Donadon_EmanuelleFazendeiro_M.pdf>. Acesso em: 12 fev. de 2024.

FARAGGI, I. Estaconsolida, Estaconsolida Engenharia de Consolidações Ltda, 2022. Disponível em: <http://www.estaconsolida.com.br/estaca-mega-concreto/>. Acesso em: 02 jan. 2024.

FONSECA, F. Estaca Mega Metálica. FUNDACON. 2020. Disponível em: <https://www.fundacon.com/servicos/estaca-mega-metalica/>. Acesso em: 12 fev. de 2024.

FLORIANO, C. Mecânica dos solos. Porto Alegre: Sagah, 2016. p. 108.

LIMA, Dieres. Estaca Mega Metálica. JJ Lima – Empreiteira e Estaqueamento Ltda, 2020. Disponível em: <https://www.jjlimaempreiteira.com.br/estaca-mega-metalica>. Acesso em: 12 fev. de 2024.

MEGA REFORÇADA. Reforço de fundação: RRF-7340-B-11-19. Mega reforçada – Estacas Mega e Solo Grampeado, 2019.

MELLO, V. Fundações e elementos estruturais enterrados. São Paulo SP: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1975. 115p.



MICHAELIS. Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/>. Acesso em: 12 fev. de 2024.

OLI, N.C; SCHNAID, F. Patologia das fundações. 2. ed. Ed. Oficina de Textos: Cubatão, 2015.

NEVES, M. J. N. Técnicas de Recalçamento e Reforço de Fundações: metodologias, dimensionamento e verificações de segurança. 2010. 189 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395142103007/Tese%2056426.pdf>. Acesso em: 11 fev. de 2024.

OLIVEIRA, A. Entrevista à revista Fundações e Obras Geotécnicas no site da Mega Reforça. 2016. Disponível em: <http://reforca.com.br/novo/caracteristicas-das-estacas-mega/>. Acesso em: 10 fev. de 2024.

PEREIRA, C. Tipos de Sondagem de Solo. Escola Engenharia, 2015. Disponível em: < <https://www.escolaengenharia.com.br/tipos-de-sondagem/>>. Acesso em: 12 fev. de 2024.

PRESA, E.P.; POUSADA, M.C. (2004) – Retrospectiva e técnicas modernas de fundações em estacas. Salvador, ABMS ,107 p.

REBELLO, Y. C. P. Fundações: guia prático de projeto, execução e dimensionamento. 4. ed. São Paulo: Zigurate, 2008.

ROCHA, E. M. (1986) – Reforço de fundações do Palácio da Liberdade. VIII congresso brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, Porto Alegre, RS, pp. 327 338.

SILVA, A. S; SILVA, W. H.; BERTEQUINI, A. B. T. Patologias e reforço de fundações com estudo de caso utilizando o método de estacas mega. 2015. Disponível em: <https://servicos.unitoledo.br/repositorio/handle/7574/2173>. Acesso em: 08 fev. de 2024.

SILVIO, A. Tipos de fundação: você sabe qual é o ideal para sua obra? 2020. Disponível em: <https://ceramicaconstrular.com.br/tipos-de-fundacao/>. Acesso em: 10 fev. de 2024.

SODRÉ, D.J.R. (1995) – Estacas raiz: Processo executivo. Monografia, Escola de Engenharia de São Carlos USP, São Carlos, SP. 98 pg.il.

SONDAGENS, Eps. Estrutura para sondagem de solos. 2021. Disponível em: <https://www.epssondagens.com.br/#sobre>. Acesso em: 11 fev. de 2024.

SCHNEIDER, Nelso. Estaca Mega e reforço de fundações: considerações gerais. 2020. Disponível em: <https://nelsoschneider.com.br/estaca-mega-reforco-de-fundacoes/>. Acesso em: 11 fev. de 2024.

TEIXEIRA, A. H.; GODOY, N. S. D. Análise, projeto e execução de fundações rasas. In: AUTORES, V. Fundações: Teoria e Prática. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998. Cap. 7.

THOMAZ, E. Trincas em Edifícios, Causas, Prevenção e Recuperação. 1. Ed. São Paulo: PINI, 1989. 205p.

THOMAZ, E. Tecnologia, Gerenciamento e Qualidade na Construção. São Paulo: Pini, 2001.