



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA – UNICEUB

FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS  
SOCIAS APLICADAS - FATECS

**JÉSSICA PADILHA MARTINS**

**PRINCIPAIS ORIGENS E CAUSAS DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS  
FUNDAÇÕES COM ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DOIS ESTUDOS DE CASO**

BRASÍLIA – DF

2018

JÉSSICA PADILHA MARTINS

**PRINCIPAIS ORIGENS E CAUSAS DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS  
FUNDAÇÕES COM ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DOIS ESTUDOS DE CASO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas - FATECS, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Professor, D. Sc. Rideci Farias, Engenheiro Civil

BRASÍLIA – DF

2018

**JÉSSICA PADILHA MARTINS**

**PRINCIPAIS ORIGENS E CAUSAS DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS  
FUNDAÇÕES COM ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DOIS ESTUDOS DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil, pelo Centro Universitário de Brasília – UNICEUB, Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas - FATECS, pela seguinte banca examinadora:

Brasília, 4 de fevereiro de 2019

Banca Examinadora

---

Eng°. Civil: Rideci Farias D. Sc. UniCEUB. Orientador

---

Eng°. Civil: Jairo Furtado Nogueira, M. Sc. UniCEUB. Examinador Interno

---

Eng<sup>a</sup>. Civil: Erika Regina Castro. UniCEUB. Examinador Interno.

**AGRADECIMENTO**

Primeiramente a Deus que proporcionou acontecimentos grandiosos em minha vida. Desde sempre me deu saúde, força de vontade, me deu uma família que amo, um lar para viver e crescer. Deus me abençoou e fez tudo perfeito em minha vida.

Agradeço à minha família que a todo o momento foi meu apoio, meu motivo de superação, meu porto seguro, meus incentivadores que sempre acreditaram na minha capacidade. Graças aos meus pais, pude realizar meu sonho de me tornar engenheira civil, e muito mais que isso, eles se dedicaram a me amar, me educar e formar o meu caráter e fizeram-me ser a pessoa que sou hoje, sem eles eu não teria alcançado 1% do que sou e do que tenho. Aos meus irmãos que eu amo muito, além de irmãos são meus melhores amigos. Ter a família que tenho é poder confiar que sempre terei pessoas verdadeiras ao meu lado e torcendo por mim em todos os momentos da vida.

Um agradecimento especial ao meu companheiro, João Victor. Meu primeiro e eterno namorado, começamos nossa história no ensino médio e desde 2012 estudamos juntos e agora nos tornamos engenheiros, durante todo nosso caminho esteve presente o amor, sinceridade, incentivo, ajuda, aprendizado. Sou feliz por tê-lo em minha vida e agora por estarmos iniciando uma nova fase em nossas vidas, construindo a nossa família.

Aos meus sogros que sempre estiveram de portas abertas para me ajudar, e foram fundamentais para que eu pudesse continuar a minha rotina de estudos. Ao amigo João Paulo que sempre pude contar com carona para voltar para casa.

Agradeço a todos os professores por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade de demonstrar a importância da educação no processo de formação profissional, por tanto que se dedicaram a mim, por terem me feito aprender.

Sempre estive cercada de pessoas iluminadas, isso me torna uma pessoa feliz e extremamente grata.

*“Inteligente é aquele que aprende com os próprios erros, o sábio aprende com o erro dos outros.”*

(Augusto Cury)

**RESUMO**

As fundações são elementos estruturais responsáveis pela transferência de carga de toda a edificação para o solo e (ou) rocha, por este motivo, ocorrência de problemas nestas estruturas é algo incoerente e devem ser identificadas e avaliadas, a fim de se evitar danos que tomem maiores proporções. As manifestações patológicas são sinais perceptíveis pelos usuários que há existência de anomalias na estrutura, que devem ser diagnosticadas e analisadas para ser possível constatar a sua origem que pode ser nas etapas de investigação do subsolo, projeto, execução, eventos pós- conclusão e degradação dos materiais constituintes. Além de se identificar a origem da manifestação patológica, é de grande importância a percepção do evento que é responsável por causar a manifestação patológica que podem se enquadrar como segregação, sobreposição do bulbo de tensões, calor de hidratação, recalques, reação álcali agregado, ataque por sulfato, falta de tratamento para estacas metálicas, pois estes eventos devem ser extinguidos afim de que se interrompa o progresso da manifestação patológica que podem se apresentar como fissuras, desaprumo e corrosão. É, portanto, muito importante a realização de um estudo que busque, não só entender as origens, causas e consequências dos problemas existentes, mas também que possa contribuir para a solução e também evitá-los. A melhor forma de se evitar a ocorrência desses problemas é prevenindo-os, isso é possível por meio da aplicação de controles de qualidade nos processos de projeto, execução, e pós-execução das fundações com um acompanhamento de uma fiscalização capaz de analisar o real cumprimento com o estabelecido nas normativas e no projeto, combinado a boas práticas de utilização. Com a apresentação de dois estudos de caso sobre patologias nas fundações foi possível estabelecer uma análise comparativa e assim identificar erros em comum que ambas estavam sujeitas, constatando que a investigação do subsolo é um processo facilmente elaborado com falhas e capaz de prejudicar todo o funcionamento de uma fundação.

**Palavra-chave:** Fundação. Patologia. Estudo de Caso.

### **ABSTRACT**

The foundations are structural elements responsible for the transfer of cargo from the entire building to the soil or rock, for this reason, to occurrences of problems

in these structures is somewhat incoherent and should be identified and evaluated, in order to avoid damages that take larger proportions. The pathological manifestations are signs perceived by users that there are anomalies in the structure that must be diagnosed and analyzed in order to verify their origin, which may be in the subsoil investigation, design, execution, post-completion and degradation of materials constituents. In addition to identifying the origin of the pathological manifestation, it is important the perception of the event that is responsible for causing the pathological manifestation that can be classified as segregation, superposition of the bulb of stresses, heat of hydration, settling, alkali aggregate reaction, attack by sulphate, lack of treatment for metallic stakes, because these events must be extinguished in order to stop the progression of the pathological manifestation that can present fissure, no plumb and corrosion. It is therefore very important to carry out a study that seeks not only to understand the origins, causes and consequences of existing problems, but also to contribute to the solution and also to avoid them. The best way to avoid these problems is to prevent them, this is possible through the application of quality controls in the processes of design, execution, and post-execution of the foundations with a monitoring of an inspection capable of analyzing the actual compliance with the regulations and the project, combined with good usage practices. With the presentation of two case studies about pathologies in foundations, it was possible to establish a comparative analysis and thus identify common errors that both were subject, noting that underground investigation is a process easily elaborated with failures and capable of undermining the entire functioning of a foundation.

**Keyword:** Foundation. Pathology. Case Study.

## **LISTA DE FIGURA**

Figura 1 – Classificação da Estrutura .....	19
Figura 2 – Principais Tipos de Fundações Existentes .....	22
Figura 3 - Sapata Isolada.....	23
Figura 4 - Sapata Associada.....	24
Figura 5 - Sapata Corrida .....	24
Figura 6 - Sapata Alavancada .....	25
Figura 7 - Bloco .....	25
Figura 8 - Radier.....	26
Figura 9 - Classificação Estaca e Tubulão.....	27
Figura 10 - Representação de Estaca .....	28
Figura 11 - Procedimento Executivo de Estaca Raiz.....	29
Figura 12 - Micro Estaca.....	29
Figura 13 - Detalhe da Micro Estaca .....	30
Figura 14 - Processo Executivo Estaca Escavada Mecanicamente .....	31
Figura 15 - Processo Executivo Estaca Strauss .....	32
Figura 16 - Processo Executivo Estaca Franki .....	34
Figura 17 - Processo Executivo Estaca Escavada com Fluido Estabilizante..	35
Figura 18 - Processo Executivo Estaca Hélice Contínua Monitorada .....	36
Figura 19 - Processo Executivo Estaca Hélice de Deslocamento .....	37
Figura 20 - Estaca Pré-Moldada de Concreto por Centrifugação .....	39
Figura 21 - Estaca Pré-Moldada de Concreto por Vibração .....	39
Figura 22 - Estaca Pré-Moldada de Madeira .....	40
Figura 23 - Estaca Pré-Moldada de Aço.....	41
Figura 24 - Tubulão a Céu Aberto .....	43
Figura 25 - Tubulão a Ar Comprimido.....	44
Figura 26 - Representação de Obtenção do Nspt. ....	46
Figura 27 - Sondagem Insuficiente .....	48
Figura 28 - Quantidade de Furos de sondagem .....	49
Figura 29 - Excentricidade Devido ao Erro de Execução do Local da Estaca. .....	52
Figura 30 - Dimensionamento Diferente o Projetado.....	52
Figura 31 - Relação do Cobrimento Nominal em Função da Classe de Agressividade Ambiental .....	54
Figura 32 - Sobreposição do Bulbo de Tensões.....	60



Figura 33 - Preparação de Bloco de Fundação de 450m <sup>3</sup> .....	61
Figura 34 - Fissuração Devido ao Calor de Hidratação .....	62
Figura 35 - Recalque Absoluto .....	64
Figura 36 - Recalque Diferencial .....	64
Figura 37 - Recalque por Distorção Angular .....	65
Figura 38 - Fissuração Devido a Reação Álcali-Agregado .....	66
Figura 39 - Corrosão Estaca Metálica.....	68
Figura 40 - Desaprumo da Edificação .....	70
Figura 41 - Etapas do Controle de Qualidade em Fundações .....	73
Figura 42 - Resposta à Cravação .....	75
Figura 43 - Planilha e Diagrama de Cravação.....	75
Figura 44 - Ensaio de Grande Deformação PIT.....	76
Figura 45 - Ensaio de Pequena Deformação PIT .....	76
Figura 46 – Planta de fôrma - Pilar Adicional P27A.....	82
Figura 47 - Demonstração dos Blocos de Coroamento .....	82
Figura 48 - Fissuras na Alvenaria.....	83
Figura 49 - Fissuras na Alvenaria.....	83
Figura 50 - Laudo de Sondagem do Furo 1 .....	84
Figura 51 - Evolução da Fissura na Viga VY4 .....	86
Figura 52 - Pilar 19 Planta de Forma.....	86
Figura 53 - Fissuras Pilar 19 no 2º dia de monitoramento.....	86
Figura 54 - Recuperação Imediata do Pilar 19. ....	87
Figura 55 - Fissuras Próximas ao Pilar 33.....	88
Figura 56 - Identificação do Falso Topo Rochoso. ....	89
Figura 57 - Planta de Reforço da Fundação .....	89
Figura 58 - Reforço do Bloco de Coroamento .....	90
Figura 59 - Reforço do Bloco de Coroamento .....	90
Figura 60 - Primeira Etapa do Reforço do Pilar 19.....	91
Figura 61 - Início da Segunda Etapa do Reforço do Pilar 19 .....	91
Figura 62 - Amostra de solo com presença de pedrs e grandes poros.....	94
Figura 63 - Comparação dos valores de NSPT obtidos.....	96
Figura 64 - Vazamento na Canaleta de Escoamento de Água na Área da Caldeira .....	97
Figura 65 - Água Acumulada na Área da Caldeira .....	98

Figura 66 - Bloco com Recalque e Estrutura Livre .....	99
Figura 67 - Planta Esquemática de Distribuição do Recalque na Região da Caldeira. ....	100
Figura 68 - Esquema Geral da Área de Trabalho .....	101

## LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Capacidade de Carga da Estaca Escavada em Relação ao Diâmetro ....	31
Tabela 2 - Capacidade de Carga da Estaca Strauss em Relação ao Diâmetro .....	33
Tabela 3 - Capacidade de Carga da Estaca Hélice Contínua em Relação ao Diâmetro.....	37
Tabela 4 - Problemas Típicos Decorrentes de Ausência de Investigação para os Tipos de Fundações.....	47
Tabela 5 - Correspondência entre a Classe de Agressividade e a Qualidade do Concreto.....	57
Tabela 6 - Cargas Informada pela Empresa de Montagem da Caldeira .....	93
Tabela 7 - Valor de Umidade na Área da Caldeira.....	98
Tabela 8 - Tabela Resumo Comparativa.....	107

## LISTA DE ABREVIATURA

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
SPT	Standard Penetration Test
Nspt	Abreviatura do índice de resistência à penetração do SPT
PDA	Pile Driving Analyser (Ensaio de Carregamento Dinâmico)
PCE	Prova de Carga Estática
PIT	Pile Integrity Test (Ensaio de Integridade)
BIM	Building Information Model (Modelagem da Informação da Construção)
RAA	Reação Álcali agregado
BRE	Building Research Establishment
PH	Potencial Hidrogeniônico
RS	Resistente a Sulfato
CAA	Classe de Agressividade Ambiental
COBRAMSEG	Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\emptyset$	Diâmetro
$\rho$	Recalque
$\Delta\rho$	Recalque Diferencial
$\gamma$	Recalque por Distorção Angular
L	Distância entre Elementos de Fundação

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	16
1.1. Objetivos .....	18
1.1.1. Objetivo geral .....	18
1.1.2. Objetivos específicos .....	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1. Caracterização de fundações .....	21
2.1.1. Fundações rasas .....	22
2.1.2. Fundações profundas .....	27
2.2. Manifestações patológicas em fundações .....	44
2.2.1. Origem.....	45
2.2.2. Causas frequentes .....	59
2.2.3. Como se apresentam .....	69
2.3. Controle de qualidade de fundações .....	72
2.3.1. Controle de projeto .....	72
2.3.2. Controle de execução.....	73
2.3.3. Controle tecnológico para verificação da qualidade e do desempenho.....	74
3. METODOLOGIA.....	80
4. ESTUDOS DE CASO .....	81
4.1. ESTUDO DE CASO 1 - estaca franki.....	81
4.1.1. Caracterização da obra e apresentação da problemática.....	81
4.1.2. Origem da manifestação Patológica .....	83
4.1.3. Causas das manifestações patológicas.....	85
4.1.4. Manifestações Patológicas.....	88
4.1.5. Recuperação.....	88
4.2. ESTUDO DE CASO 2 – estaca escavada .....	93
4.2.1. Caracterização da obra e apresentação da problemática.....	93
4.2.2. Origem da manifestação patológica .....	94
4.2.3. Causas das manifestações patológicas.....	98
4.2.4. Manifestações patológicas.....	100
4.2.5. Recuperação.....	100
5. ANÁLISES E DISCUSSÕES .....	102

5.1.	Análise quanto aos Tipos de solo .....	102
5.2.	Análise quanto à origem da manifestação Patológica .....	103
5.3.	Análise quanto à causa das manifestações patológicas.....	105
5.4.	Análise das Manifestações patológicas identificadas .....	105
5.5.	Recuperação.....	105
5.6.	Controle tecnológico necessário .....	106
5.7.	Orçamento .....	106
6.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS .....	108
6.1.	Sugestões de pesquisas futuras .....	109
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	110

## 1. INTRODUÇÃO

Fundações são elementos estruturais de suma importância para garantir estabilidade e segurança adequadas para o comportamento de qualquer estrutura. Seu desempenho está atrelado diretamente à investigação do subsolo, precisão de projeto, execução, forma de utilização e materiais utilizados, sendo vários fatores que podem incidir de forma negativa na qualidade final deste elemento, causando problemas.

Devido a isso, faz-se necessário um estudo mais específico sobre essa problemática, o ramo de patologias das construções, pois a partir dele pode ser possível evidenciar as causas dos respectivos problemas, facilitando na busca de soluções apropriadas e viáveis. A existência do estudo na área de patologias se concentra em identificar origem dos erros para realizar devida reparação e garantir durabilidade e eficiência da edificação.

Como as fundações são responsáveis pela transferência de cargas da superestrutura ao solo e (ou) rocha é incoerente a existência de problemas, pois com a fundação comprometida, toda a estrutura passa a perder sua segurança e funcionalidade, acarretando grandes complicações como situações de risco, necessidade de evacuação dos prédios, interdição e demanda custos elevados para sua reparação. Além que, tais manifestações diminuem a vida útil da edificação, traz desconforto para aqueles que são usuários e compromete na segurança.

Logo, é importante evidenciar que o comportamento anômalo das fundações é algo que pode e deve ser evitado. Sendo assim, identificar a origem das manifestações patológicas nas fundações é uma das melhores formas de combatê-las, afim de que se evite a incidência em situações futuras, além de reduzir custos e procedimentos de recuperação que é também extremamente invasivo para estrutura.

Dentre as técnicas para se identificar anomalias na estrutura das fundações, a fiscalização, o monitoramento e as manutenções preventivas, tornam-se indispensáveis e tem um papel importante nesta temática.



A fiscalização demanda um investimento inicial e é necessário ter recursos tecnológicos adequados que possibilitam o correto acompanhamento do desempenho da fundação com a presença de um profissional qualificado para analisar o caso e dizer se há a necessidade de uma intervenção de recuperação que seja apropriada para cada caso.

O foco do presente trabalho é identificar e analisar quais são as principais origens de manifestações patológicas presentes nas fundações. Para isso, será realizada uma ampla pesquisa bibliográfica por meio de livros, artigos, dissertações e teses.

Para atingir este objetivo, serão apresentados no capítulo 2 a Caracterização das fundações, as manifestações patológicas em fundações e Controle de qualidade. Com a finalidade de exemplificar a revisão bibliográfica abordada, o capítulo 4 apresenta dois estudos de casos para elaboração de uma análise comparativa.

Isto posto, pretende-se apresentar uma análise investigativa das causas das principais manifestações patológicas, com intuito de estimular a importância de pesquisas e estudos nesta área de conhecimento, para assim, minimizar a ocorrência dos possíveis problemas que levam danos nas fundações, diminuindo transtornos, intervenções arriscadas e gastos.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivo geral

Objetivo geral é identificar e analisar quais são as principais causas de manifestações patológicas presentes nas fundações profundas e suas origens.

### 1.1.2. Objetivos específicos

- Demonstrar os principais tipos de fundações existentes;
- Identificar a origem das principais manifestações nas etapas construtivas;
- Evidenciar as causas que desenvolvem as manifestações patológicas;
- Mencionar mecanismos de controle tecnológico para acompanhamento do desempenho das fundações;
- Elaborar uma análise comparativa de duas situações reais de patologia de fundação.

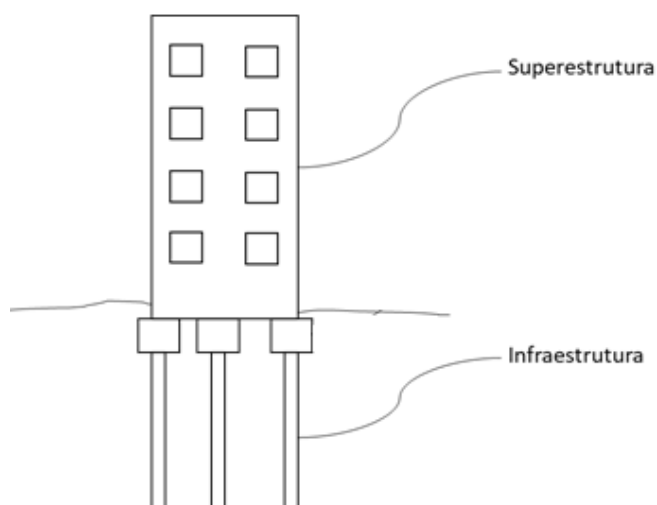
## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para que haja um melhor entendimento sobre o presente trabalho, é importante ter conhecimento em relação aos principais tipos de fundações existentes. Pois a partir das particularidades presentes em cada método construtivo é possível a existência de manifestações patológicas típicas para cada um desses casos. Os tipos de fundação estão descritos no item 2.1.

É necessário, também, entender o propósito da patologia na engenharia civil, para assim poder evidenciar as principais manifestações patológicas. Segundo Helene (1992), entende-se por patologia como a parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema.

O termo “patologia”, é de origem grega (pathos – doença, e logia – ciência, estudo) e significa “estudo da doença”. Patologia é um dos objetos de estudo fundamental deste trabalho. Por tanto, trazendo-o dentro do contexto da engenharia civil, especificamente na área de fundações, implica aos estudos dos danos ocorridos nas fundações. Essas manifestações são identificadas geralmente na superestrutura (Figura 1) e são reconhecidas de diversas formas como trincas, desaprumo, corrosão, entre outras, que são abordadas no item 2.2 do presente trabalho.

Figura 1 – Classificação da Estrutura



Fonte: Autoria própria (2018)

E ao final da revisão, são apresentados o devido acompanhamento para se averiguar a qualidade de desempenho das fundações, controles de projeto, execução e tecnológico necessários para avaliação, trazendo assim a relevância da fiscalização e manutenção, no item 2.3.

## 2.1. CARACTERIZAÇÃO DE FUNDAÇÕES

Fundações são elementos estruturais, obras geotécnicas responsáveis por suportar cargas de toda estrutura, sejam elas estáticas ou dinâmicas, que garanta eficiência quanto a sua resistência, durabilidade e segurança ao desempenhar sua função.

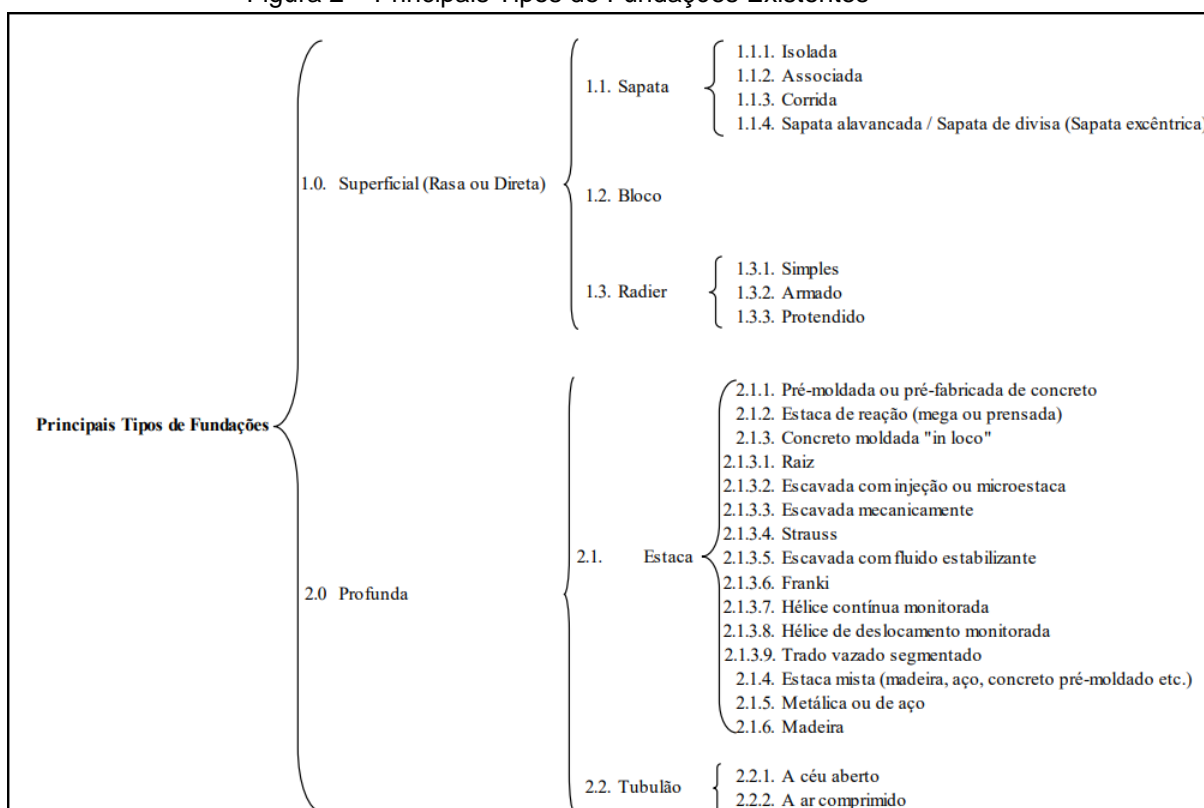
“Uma obra geotécnica, ou uma estrutura geotécnica, é um componente simples, ou múltiplos componentes integrados, que transmite cargas de uma estrutura para o solo.” (BUDHU, 2013, p.28).

Devido à variedade de solos e de cargas, é imprescindível a existência de vários tipos de fundações de forma que seja adequada para cada tipo de situação, isto é, atenda as condições geotécnicas impostas e resista a solicitação que será sofrida.

Dentre os tipos, para melhor entendimento, são divididos em duas principais linhas de segmento, conhecidos como fundação rasa e fundação profunda, onde nestas há uma vasta ramificação de vários tipos respectivamente, como demonstrados a baixo (**Figura 2 – Principais Tipos de Fundações Existentes**

):

Figura 2 – Principais Tipos de Fundações Existentes



Segundo (FARIAS, R. PARANHOS, H. 2018) a escolha do tipo de fundação

Fonte: FARIAS, R. PARANHOS, H. (2018)

adequada, devem ser levadas em consideração os seguintes aspectos:

- Sondagem da área em que vai se construir (tipo do solo, nível d'água, etc.);
- Grandeza das cargas a serem transmitidas à fundação;
- Topografia da área (levantamento topográfico planialtimétrico; dados sobre taludes e encostas no terreno ou que possam atingir o terreno);
- Arquitetura da edificação com vistas a verificar cotas, subsolos, etc.;
- Proximidade dos edifícios limítrofes, bem como o tipo de fundação e estado desses edifícios limítrofes;
- Limitação dos tipos de fundação existentes no mercado (disponibilidade de equipamentos, mão de obra etc.).

#### 2.1.1. Fundações rasas

É recomendável utilizar esse tipo de fundação quando o solo, nas camadas mais superficiais, tiver resistência suficiente para suportar as cargas atuantes. Sendo essa resistência progressiva nas camadas seguintes, ou se prevalecer a mesma ao longo da profundidade.

*“Elementos de fundação em que a carga é transmitida ao terreno, predominantemente pelas pressões distribuídas sob a base da fundação, e em que a profundidade de assentamento em relação ao terreno adjacente é inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação. Incluem-se neste tipo de fundação as sapatas, os blocos, os radier, as sapatas associadas, as vigas de fundação e as sapatas corridas”. (ABNT, 1996, p.2)*

#### 2.1.1.1. Sapatas

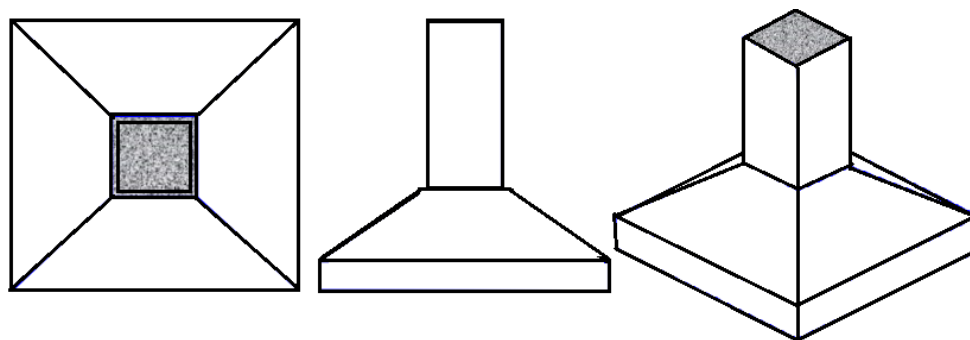
Estruturas devidamente armadas. Por ter uma baixa rigidez, faz com que esta peça trabalhe à flexão, o que gera um esforço de tração em sua base.

Como mostrado a cima, o local tracionado, é o local onde necessita de armadura, respeitando o cobrimento nominal. As sapatas se dividem entre isolada, associada, corrida, alavancada.

##### 2.1.1.1.1. Sapata isolada

Estrutura de fundação responsável por transmitir uma carga pontual, sendo esta proveniente de um pilar, ou da carga resultante de uma viga baldrame (viga de fundação). Representada na Figura 3.

Figura 3 - Sapata Isolada

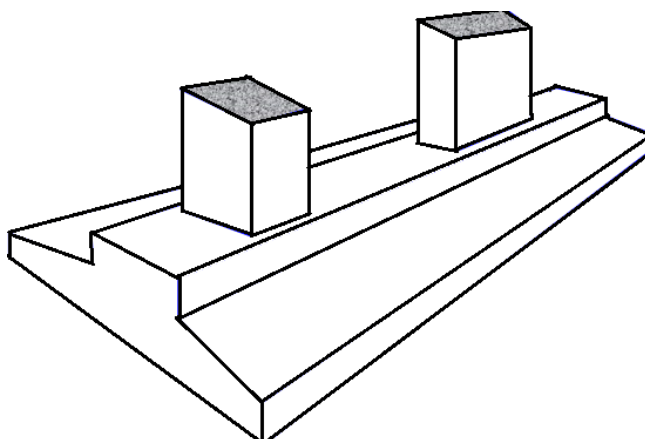


Fonte: FARIAS, R. PARANHOS, H. (2018)

##### 2.1.1.1.2. Sapata associada

Fundação rasa responsável por transmitir à solo carga de vários pilares. (Figura 4)

Figura 4 - Sapata Associada



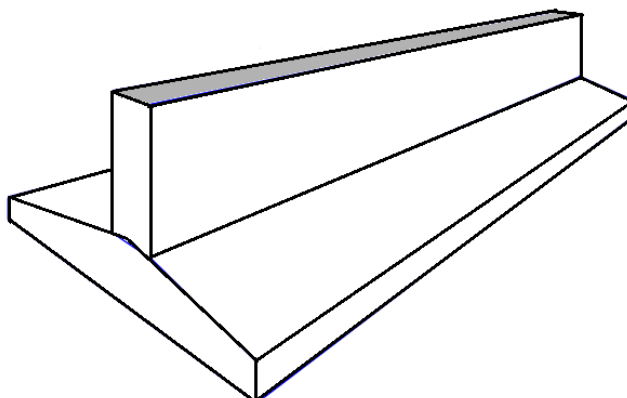
Fonte: FARIAS, R. PARANHOS, H. (2018)

#### 2.1.1.1.3. Sapata corrida

Sapata que está sujeita à ação de uma carga distribuída linearmente.

(Figura 5)

Figura 5 - Sapata Corrida



Fonte: FARIAS, R. PARANHOS, H. (2018)

#### 2.1.1.1.4. Sapata alavancada

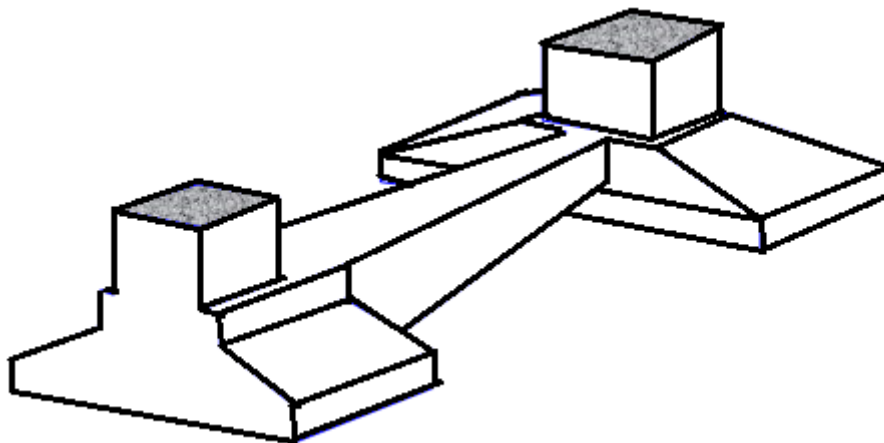
Estrutura utilizada quando o pilar se encontra no limite do terreno, há a necessidade que a sapata avance o terreno vizinho, sendo que esta é uma ocorrência não permitida, pois a fundação não pode ser executada ultrapassando a divisa.

Dessa forma a sapata alavancada (Figura 6) é a indicada nessas situações. A carga do pilar se encontra fora do centro de gravidade da sapata, esta é denominada sapata excêntrica. Essa situação provoca uma distribuição não



uniforme de tensões no solo e também a ocorrência de momento fletor no pilar, ocasionando alterações no seu comportamento.

Figura 6 - Sapata Alavancada



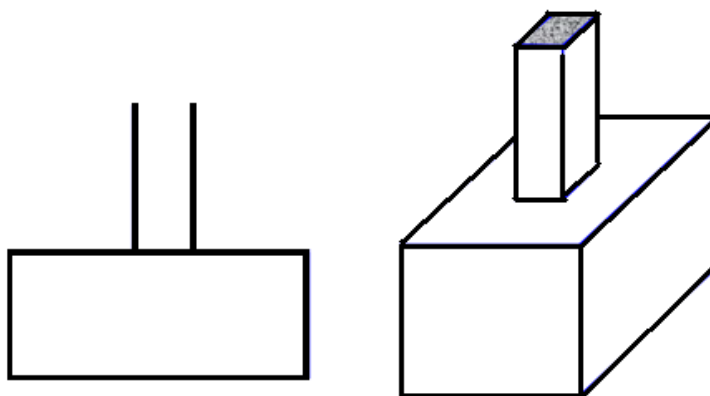
Fonte: FARIAS, R. PARANHOS, H. (2018)

#### 2.1.1.2. Blocos

Blocos, que está representado na Figura 7, são elementos estruturais que possuem alta rigidez, por este motivo não é necessário o uso de armadura para combater tração, já que a flexão sofrida pela estrutura é irrelevante, por este motivo, despreza-se armadura e calcula-se para que o concreto seja o suficiente para resistir a carga.

*“Dimensionado de modo que as tensões de tração nele produzidas possam ser resistidas pelo concreto, sem necessidade de armadura. Pode ter suas faces verticais, inclinadas ou escalonadas e apresentar normalmente em planta seção quadrada ou retangular”.* (ABNT, 1996, p.2)

Figura 7 - Bloco



Fonte: FARIAS, R. PARANHOS, H. (2018)

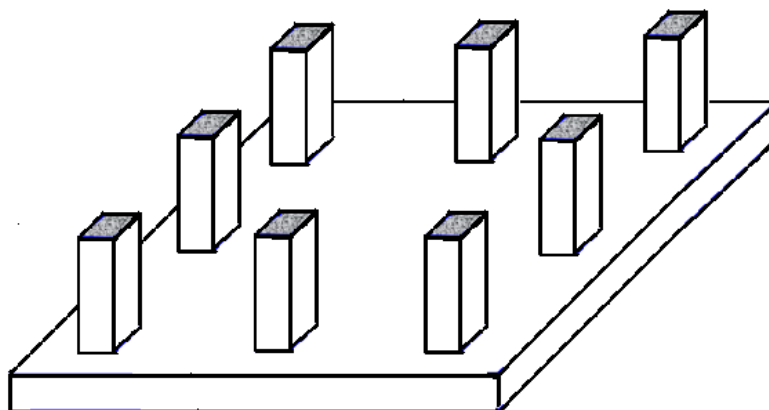
### 2.1.1.3. Radier

Fundação que contempla todas as cargas oriundas dos pilares (Figura 8), muito indicado para as situações em que as fundações do tipo sapatas ocupem 50% do terreno total ou mais.

A utilização deste tipo de fundação rasa necessita de um solo apropriado que tenha uma boa resistência já nas primeiras camadas em que será apoiado.

“Elemento de fundação superficial que abrange todos os pilares da obra ou carregamentos distribuídos (por exemplo: tanques, depósitos, silos, etc.).” (ABNT, 1996, p.2)

Figura 8 - Radier



Fonte: FARIAS, R. PARANHOS, H. (2018)

## 2.1.2. Fundações profundas

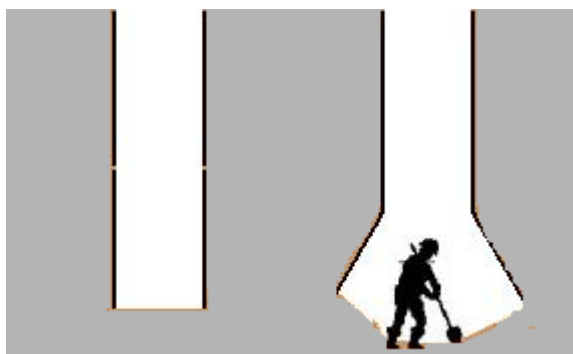
Conforme exposto na NBR 6122:

*“Segundo Elemento de fundação que transmite a carga ao terreno pela base (resistência de ponta), por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas, e que está assente em profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, e no mínimo 3 m, salvo justificativa. Neste tipo de fundação incluem-se as estacas, os tubulões e os caixões”. (ABNT, 1996, p.2)*

Dentre os variados tipos de fundações profundas, a escolha daquela que atenderá melhor as necessidades, dependerá das características de resistência do solo, geralmente são solos com a capacidade de resistência baixa nas primeiras camadas, depende também da presença de lençol freático e seu nível e da grandeza dos carregamentos aplicados nas fundações.

Fundações profundas se subdividem principalmente entre estacas e tubulões, com a principal diferença entre elas a descida ou não de pessoa (Figura 9), sendo este um procedimento realizado para alargamento da base, limpeza e inspeção como demonstrado na figura.

Figura 9 - Classificação Estaca e Tubulão



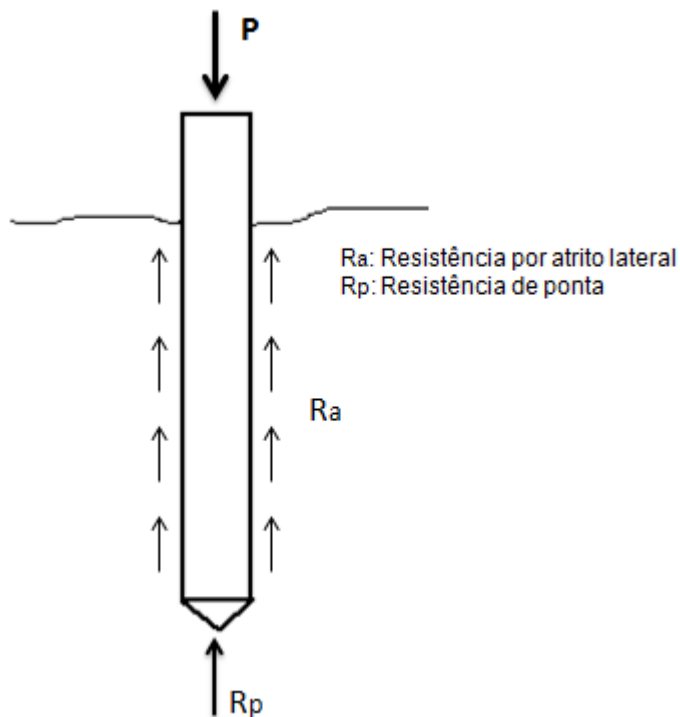
Fonte: Autoria própria (2018)

### 2.1.2.1. Estacas

Nas estruturas de fundação tipo estaca não ocorre a descida de pessoa, sendo esta fundação atuante principalmente pela resistência por atrito lateral e pela resistência de ponta (Figura 10). Estaca é o elemento estrutural o qual concentra maior variedade de tipos de métodos construtivos. As duas principais vertentes

deste elemento estrutural estão entre estacas moldadas in loco e estacas pré-moldadas.

Figura 10 - Representação de Estaca



Fonte: REBELLO (2008)

#### 2.1.2.1.1. Estacas moldadas in loco

São estruturas que necessitam previamente da escavação do subsolo antes de sua execução, pois este elemento será moldado no momento da sua concretagem na perfuração realizada.

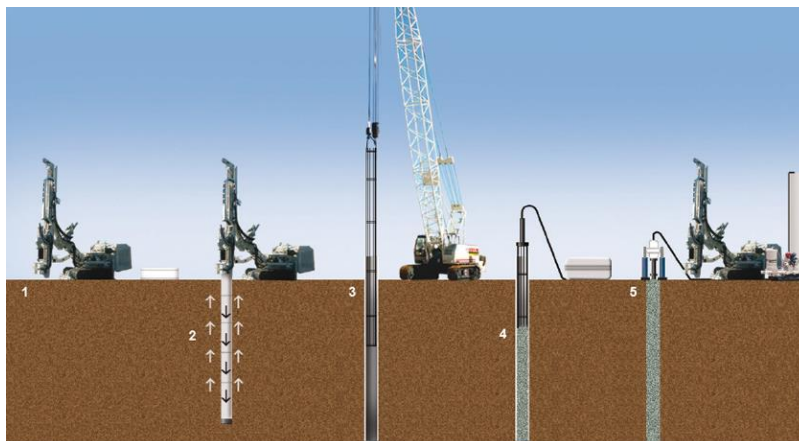
Dentro deste método construtivo, estão presentes principalmente oito tipos de estacas.

##### 2.1.2.1.1.1. Estaca Raiz

Estaca raiz é feita a partir de uma perfuração rotativa em solo ou rotoperkursiva no caso de execução em rochas, revestido integralmente no trecho de solo, por tubos metálicos recuperáveis, é colocado a armadura e posteriormente preenchido com argamassa como representado na Figura 11.

Portanto o processo executivo de uma estaca tipo raiz compreende-se na perfuração, instalação da armadura, preenchimento com argamassa e remoção do revestimento e aplicação de golpes de ar comprimido.

Figura 11 - Procedimento Executivo de Estaca Raiz



Fonte: GEOFUND (2015)

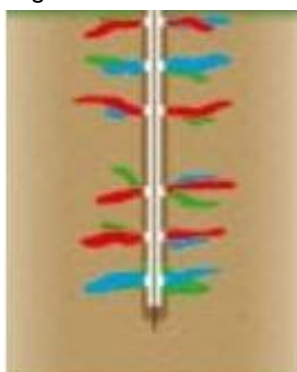
É um método muito utilizado por ter diversas vantagens como:

- Alta capacidade de carga com recalques bastante reduzidos;
- Possibilidade de execução em áreas restritas e alturas limitadas com perturbação mínima do ambiente circundante;
- Executável em diversos tipos de terrenos e em direções especiais;
- Utilizada para esforços de compressão e a tração (tirante).

#### 2.1.2.1.1.2. *Microestaca*

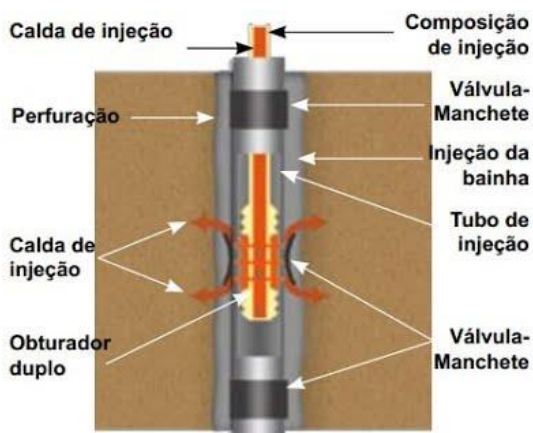
Também conhecida como estaca escavada com injeção (Figura 12) é uma estaca armada, executada a partir da perfuração rotativa ou rotoperkursiva, o qual será injetado por meio de um tubo com válvulas manchete representada na Figura 13 a calda de cimento, que aumenta o alcance de atuação da estaca.

Figura 12 - Micro Estaca



Fonte: LAN GEOTECNIA E FUNDAÇÕES

Figura 13 - Detalhe da Micro Estaca

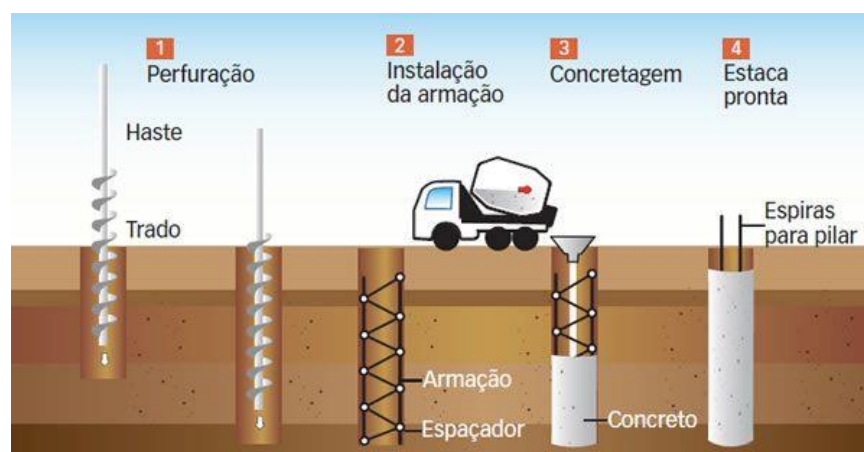


Fonte: LAN GEOTECNIA E FUNDAÇÕES

#### 2.1.2.1.1.3. Estaca Escavada Mecanicamente

Esta é executada pela remoção do solo através de trado mecânico rotativo. Durante a execução não é necessária a utilização de revestimento ou de fluido estabilizante e não precisa ser integralmente armada. Tem um processo executivo simples (Figura 14) de baixo custo quando comparado com as demais estacas.

Figura 14 - Processo Executivo Estaca Escavada Mecanicamente



Fonte: CONSTRUÇÃO MERCADO (2013)

A capacidade de carga da estaca varia conforme o diâmetro (Tabela 1), segundo a empresa Basestrauss fornece os valores dessa capacidade relacionados ao diâmetro.

Tabela 1 - Capacidade de Carga da Estaca Escavada em Relação ao Diâmetro

Diâmetro da hélice Ø (cm)	25	30	40	50	60	70	80	90
Capacidade (tf)	20	28	50	80	113	145	200	250

Fonte: BASESTRAUSS (2013)

A empresa Basestrauss define vantagens da estaca escavada mecanicamente como as seguintes:

- Acessibilidade por se tratar de equipamentos sobre esteira, possui grande vantagem sobre as estacas feitas com caminhões ou mesmo os manuais;
- Execução sem vibração ou barulho, fator importante quando existem construções vizinhas ou muito próximas;
- Alta Produção;
- Fundação de menor custo;
- Aproveitamento do material escavado com possibilidade de amostragem do solo escavado e reutilização do mesmo em outras etapas da obra;
- Alto torque possibilita atravessar camadas do solo de grande resistência (exceto rocha e matacões).

#### 2.1.2.1.1.4. Estaca Strauss

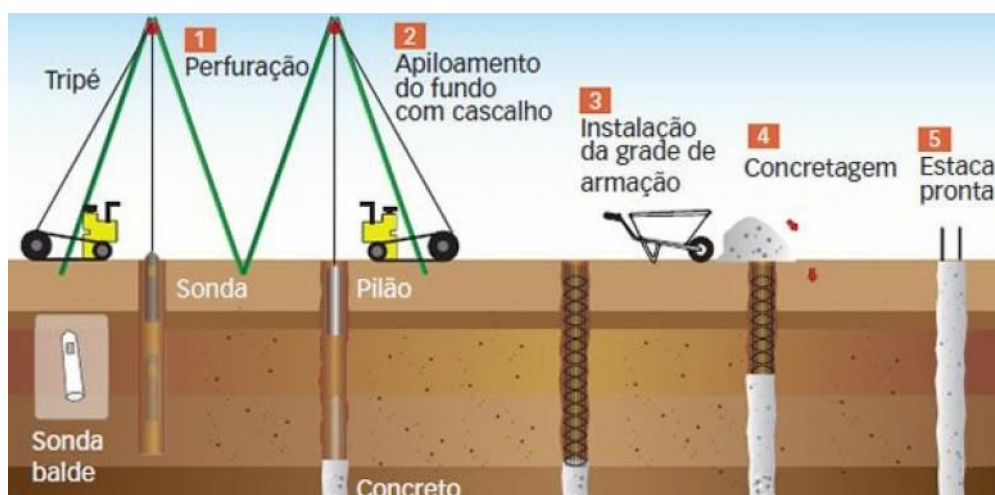
O processo de confecção da estaca Strauss, representado na Figura 15, se inicia com a perfuração no solo com auxílio de uma sonda que crava os revestimentos metálicos que são rosqueados entre si. A sonda retira o solo que a penetra por uma abertura que está localizado em uma de suas extremidades, os golpes sucessivos fazem com que o solo seja levado para dentro da sonda.

Conforme a tubulação vai sendo empregada, outros tubos são rosqueados em sua extremidade, até que se atinja a profundidade determinada no projeto.

Após a profundidade ser alcançada, inicia-se a concretagem. A sonda de percussão é substituída pelo soquete, e o concreto é lançado dentro da tubulação com auxílio de um funil e apiloado com o soquete. Para a execução do fuste, o concreto vai sendo lançado no decorrer da tubulação e apiloado, conforme as camisas metálicas vão sendo removidas com auxílio do guincho.

A NBR 6122 define que estaca strauss é um tipo de fundação profunda executada por perfuração através de balde sonda (piteira), com uso parcial ou total de revestimento recuperável e posterior concretagem.

Figura 15 - Processo Executivo Estaca Strauss



Fonte: VWF FUNDAÇÕES (2018)

Segundo FARIAS, R. PARANHOS, H. (2018) as vantagens nesse método construtivo são identificadas como:

- A estaca Strauss é um equipamento leve e econômico;
- Baixas trepidações e vibrações em prédios vizinhos;



- Facilidade de locomoção dentro da obra;
- Possibilidade de verificar, durante a perfuração, a presença de corpos estranhos ou matacões no solo, permitindo a mudança de locação da concretagem.

“A estaca strauss transmite a carga ao solo principalmente pelo atrito de sua parede com o solo resistente, a capacidade de carga da estaca strauss depende apenas do seu diâmetro” (REBELLO, 2008, p.74).

Tabela 2 - Capacidade de Carga da Estaca Strauss em Relação ao Diâmetro

Diâmetro $\varnothing$ (cm)	25	32	38	45
Capacidade (tf)	20	30	40	60

Fonte: REBELLO (2008)

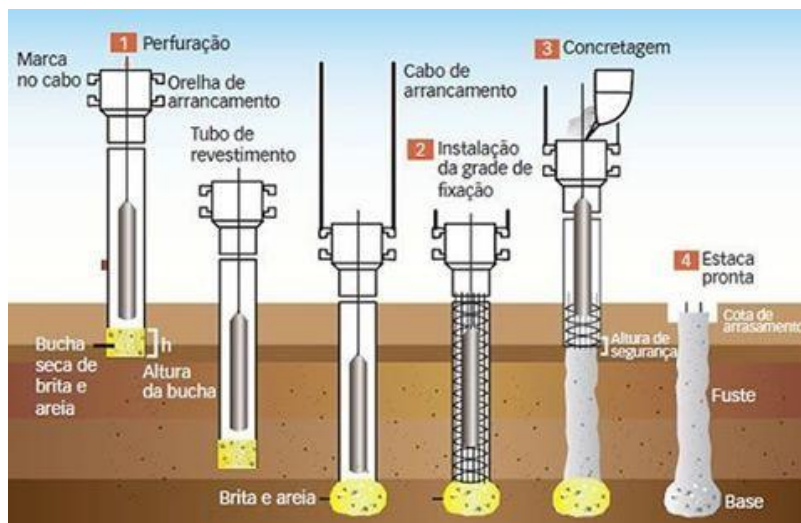
#### 2.1.2.1.1.5. Estaca Franki

Consiste na cravação do tubo através de sucessivos golpes de um pilão. O tubo franki possui sua extremidade fechada com brita e areia, conhecido também como “bucha seca”.

Ao ser socada pelo pilão a bucha seca é cravada no solo conjuntamente com o tubo, até se atingir a cota de apoio da estaca na profundidade projetada. Ao atingir a profundidade desejada o tubo é preso ao bate estacas por meio de cabos de aço, conhecido também como cabo de arrancamento, para que o mesmo continue no nível em que está fixado, o pilão continua a executar os golpes na bucha seca de forma a expulsá-lo formando a ponta da estaca.

Após a execução da ponta, a armadura é colocada. Posteriormente começa-se o procedimento de concretagem. Este procedimento pode ser visualizado na Figura 16 a seguir.

Figura 16 - Processo Executivo Estaca Franki



Fonte: CONSTRUÇÃO MERCADO (2013)

#### 2.1.2.1.1.6. Estaca Escavada com Fluido Estabilizante

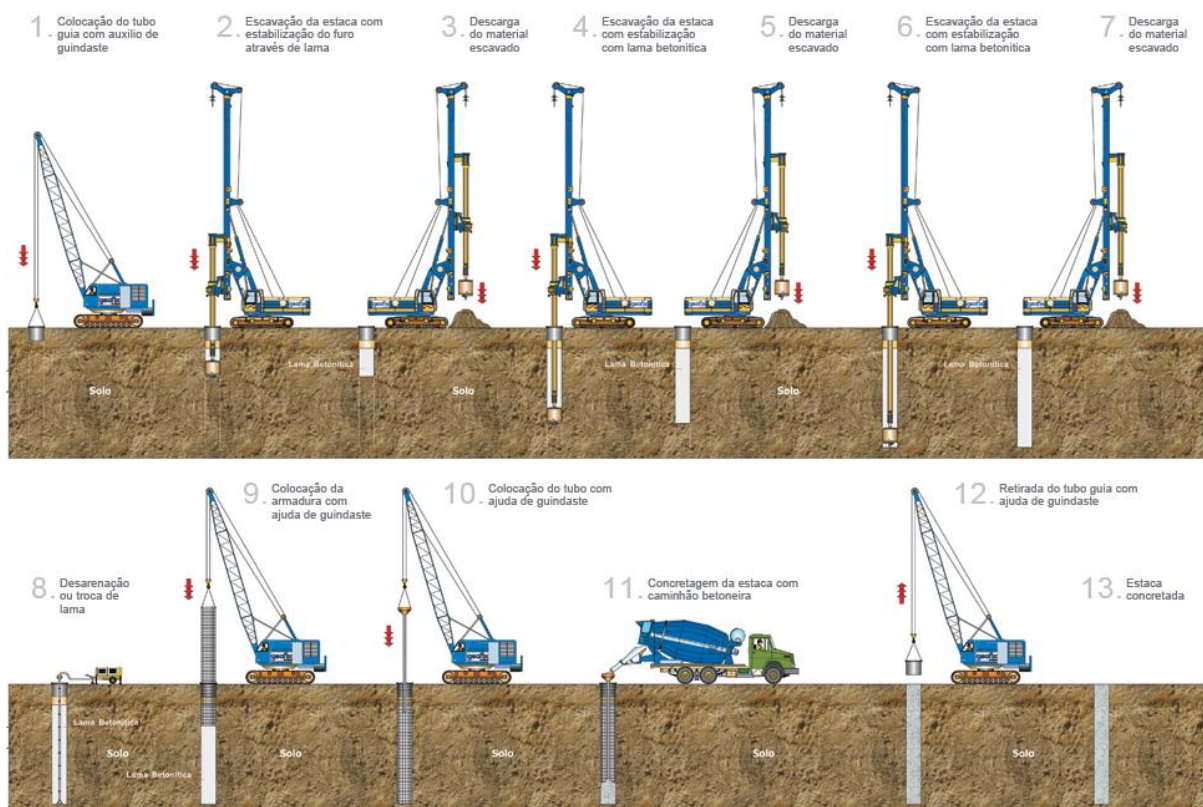
São escavadas através de uma perfuratriz acoplada ao guindaste principal quando sua seção for circular. No caso de seção retangular são chamadas de estacas barretes e escavadas com utilização de clam-shell.

A lama bentonítica é utilizada com uma das funções básicas de proporcionar estabilidade nas paredes da perfuração, garantindo o não desmoronamento, além de desempenhar uma função importante de criar uma película impermeável nas paredes da escavação, chamada 'cake', muito importante para situações que haja presença do lençol freático. Anteriormente a concretagem haverá a colocação das armaduras.

A concretagem feita é do tipo submersa, através de um tubo que atinge o fundo do painel. O concreto deve ser bastante plástico, e será o responsável por expulsar a lama a partir do fundo da estaca devido à sua maior densidade.

O concreto a ser utilizado deve ser de grande trabalhabilidade (19 a 21 cm no 'slump-test') e um consumo de cimento elevado (não menos que 350 kg/m<sup>3</sup>). O processo executivo está ilustrado na Figura 17.

Figura 17 - Processo Executivo Estaca Escavada com Fluido Estabilizante



Fonte: GEOFIX

Segundo a empresa Geofix, a sequência executiva compreende as fases de:

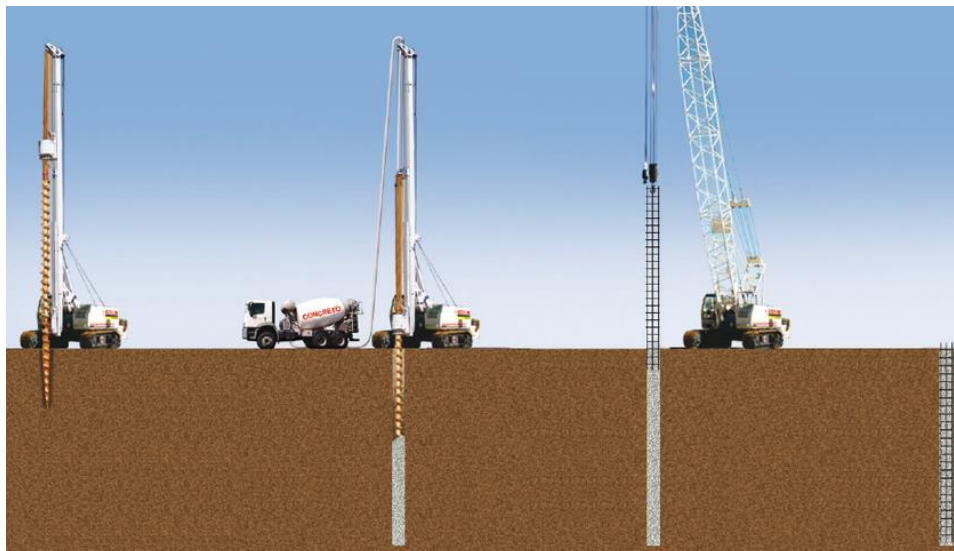
- Colocação da camisa-guia ou execução da mureta-guia;
- Perfuração, com o simultâneo preenchimento com lama bentonítica ou lama;
- Colocação da armadura, após desarenação ou troca da lama bentonítica;
- Concretagem;
- Descarte da lama bentonítica.

#### 2.1.2.1.1.7. Estaca Hélice Contínua Monitorada

Através da introdução por rotação de um trado helicoidal no terreno se faz possível a retirada do solo ao mesmo tempo que a estaca é concretada. Esta concretagem é feita pela própria haste central do trado no momento de sua retirada, sendo esta estaca parcialmente armada, em que a armadura é introduzida manualmente logo após a concretagem da estaca (Figura 18). É necessário o uso de um concreto bem argamassado com consumo de 400 kg/m<sup>3</sup> de cimento, pois

além de aumentar a qualidade final da estaca, facilita a etapa executiva de colocação das armaduras.

Figura 18 - Processo Executivo Estaca Hélice Contínua Monitorada



Fonte: GEOFUND (2015)

### Vantagens

- Baixo nível de ruído durante execução;
- Ausência quase total de vibrações no terreno, comum nos equipamentos a percussão;
- Alta capacidade de carga das estacas, diminuindo o tamanho dos blocos de coroamento;
- Grande atrito lateral das estacas, devido ao bombeamento do concreto;
- Grande poder de perfuração do equipamento, podendo atravessar camadas de solo com SPT alto;
- Controle e monitoramento eletrônico da qualidade das estacas;
- Rapidez na execução dos trabalhos;
- Limpeza do canteiro de obras.

*“A estaca hélice contínua apresenta além de alta produtividade, um elevado grau de qualidade. A sua execução é monitorada eletronicamente, podendo-se a qualquer instante obter informações a respeito da inclinação da haste, da profundidade da perfuração, do torque e velocidade de rotação da hélice, da pressão de bombeamento do concreto, como também do consumo e perdas de concreto.” (REBELLO, 2008, p. 77)*

A capacidade de carga varia de acordo com o diâmetro da estaca, conforme a Tabela 3:

Tabela 3 - Capacidade de Carga da Estaca Hélice Contínua em Relação ao Diâmetro

Diâmetro da hélice $\varnothing$ (cm)	27,5	35	40	42,5	50	60	70	80	90	100
Capacidade (tf)	25 a 35	35 a 50	50 a 65	55 a 70	70 a 100	110 a 140	155 a 190	200 a 250	255 a 310	315 a 390

Fonte: REBELLO (2008)

#### 2.1.2.1.1.8. Estaca Hélice de Deslocamento Monitorada

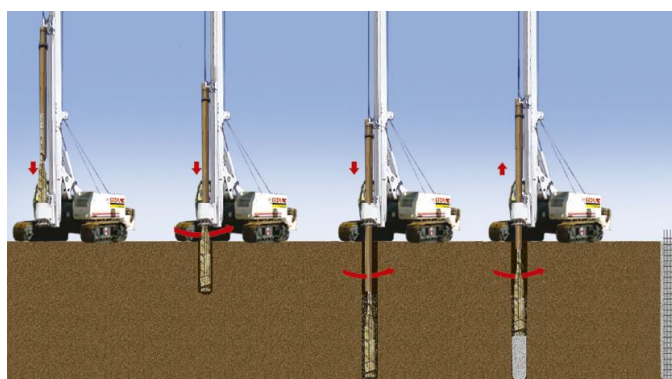
Também é conhecida como estaca ômega, são estacas em que sua principal característica consiste na introdução de um trado especial que realizará o deslocamento lateral do solo no terreno, sem o transportá-lo à superfície, portanto não há retirada do solo, resultando numa melhora do atrito lateral.

A concretagem é realizada pelo tubo central simultaneamente em que o trado está a ser retirado e posteriormente a concretagem coloca-se a armadura da estaca (Figura 19).

Segundo a FUNDESP os diâmetros de hélice ômega disponíveis vão até a 620mm. Os equipamentos devem possuir torque de 160 KNm. Não há nenhuma limitação teórica para os diâmetros da hélice ômega, contanto que, haja quantidade de energia disponível (torque) para cravar o trado no terreno.

Quanto à profundidade, é possível executar este tipo de estaca em até 28m de profundidade, dependendo do equipamento, torque e diâmetros a serem utilizados.

Figura 19 - Processo Executivo Estaca Hélice de Deslocamento



Fonte: GEOFUND (2015)

Do ponto de vista técnico e econômico a estaca hélice ômega apresenta as seguintes vantagens:

- Menor sobre-consumo de concreto, devido à compactação do terreno.
- Ausência de material escavado.
- Maior agilidade na mudança de diâmetro, onde só o elemento com o trado é trocado.

#### 2.1.2.1.2. Estacas pré-moldadas

São estruturas que não necessitam previamente da escavação do subsolo para sua execução, pois neste momento o elemento de fundação já levado à obra de maneira pré-fabricada para assim ser cravado no solo.

Dentro deste método construtivo, estão presentes principalmente as estacas pré-moldadas de concreto, estacas de aço e as estacas de madeira.

##### 2.1.2.1.2.1. Estaca pré-moldada de concreto

São estacas de deslocamento constituídas de concreto armado, em que sua fabricação é feita por forma metálicas. Há duas formas de adensamento desta estaca, por vibração (Figura 21) e por centrifugação, sendo que a segunda resulta em estacas vazadas(Figura 20).

O modo mais comum do segmento de pré-moldado ser introduzido no terreno é por meio de sucessivos golpes com o uso de bate estaca queda livre.

Segundo a NBR 6122:1996, define estacas de deslocamento como

*“Tipo de fundação profunda em que a própria estaca ou um molde é introduzido no terreno por golpes de martelo (por exemplo: de gravidade, de explosão, de vapor, de diesel, de ar comprimido, vibratório). Em certos casos, esta cravação pode ser precedida por escavação ou lançamento”. (ABNT, 1996, p. 2)*

Figura 20 - Estaca Pré-Moldada de Concreto por Centrifugação



Fonte: ENGENHARIA CONCRETA (2016)

Figura 21 - Estaca Pré-Moldada de Concreto por Vibração



Fonte: JL FUNDAÇÕES

Vantagens de estaca pré-moldada são:

- Este tipo de estaca possui uma grande vantagem em relação às estacas de concreto moldadas no local, que é o controle de qualidade por ser um elemento pré-moldado;
- As estacas pré-moldadas de concreto são excelentes opções para execução de fundação em solos com lençol freático próximo ao nível do solo;
- Colaboram significativamente com uma obra mais limpa;
- Sem a necessidade de escavação, elimina custos com bota fora e limpeza.

#### 2.1.2.1.2.2. Estaca pré-moldada de madeira

São estacas compostas de madeira cravadas no solo sem a necessidade de fazer a escavação. A madeira mais utilizada é o eucalipto.

*“Essa modalidade de estaca é mais utilizada em obras temporárias, como cimbramento de pontes ou mesmo de outras obras de grandes dimensões. Nessas obras, utiliza-se comumente o tronco de eucalipto, com diâmetro acima de 15cm.” (REBELLO, 2008, p. 90)*

Figura 22 - Estaca Pré-Moldada de Madeira



Fonte: NARESI FUNDAÇÕES E GEOTECNIA

Segundo MINÁ A. J. S.; DIAS, A. A. (2008, p.130) madeira apresentam vantagens como:

- Leveza;
- Flexibilidade;
- Possui boa resistência a choques;
- Possui conicidade natural que facilita o desenvolvimento do atrito lateral;
- Baixo custo;
- É matéria-prima natural e renovável;
- Apresentam durabilidade quase que ilimitada quando trabalham completamente abaixo do lençol freático.



### 2.1.2.1.2.3. Estaca pré-moldada de aço

São estacas de deslocamento, constituída de aço, um elemento estrutural produzido industrialmente, representadas na

*“Os perfis usados nas estacas metálicas são em sua maioria perfis laminados e perfis de chapas soldadas. Sendo esses perfis I ou H, pois apresentam grande capacidade para cargas verticais, horizontais e momentos fletores.” (Rebello, 2008, p. 91)*

Figura 23 - Estaca Pré-Moldada de Aço



Fonte: NARESI FUNDAÇÕES E GEOTECNIA

Segundo a GERDAU, são inúmeras as razões para sua utilização, quando comparadas com outros tipos, como:

- Reduzido nível de vibração durante sua cravação, quer seja com martelos de queda livre ou com os modernos martelos hidráulicos;
- Possibilidade de cravação em solos de difícil transposição como, por exemplo, argilas rijas a duras, pedregulhos e concreções (laterita, limonita, etc) sem o inconveniente do “levantamento” de estacas vizinhas já cravadas (como ocorre, por exemplo, no caso das estacas pré-moldadas de concreto e Franki) e sem perdas de estacas “quebradas” que oneram não só o estaqueamento como os blocos que deverão ser redimensionados (aspectos de custo e prazo);
- Resistência a esforços elevados de tração (da ordem de grandeza da carga de compressão, exceto quando as estacas se apoiam em rocha)

e de flexão (o porquê de seu emprego muito ligado às estruturas de contenção);

- Possibilidade de tratamento à base de betume especial (pintura), com a finalidade de reduzir o efeito do “atrito negativo”;
- Facilidade de corte e emenda de modo a reduzir “perdas” decorrentes da variação da cota de apoio do extrato resistente, principalmente em solos residuais jovens.

#### 2.1.2.2. Tubulões

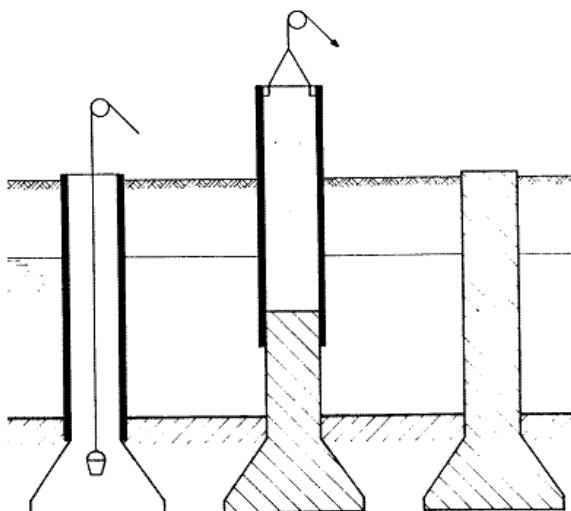
Nas estruturas de fundação do tipo tubulão são compostas de fuste e base, em que na sua execução ocorre a descida de pessoa. Este é um procedimento adotado para alargamento da base, limpeza e inspeção. Um fator característico importante de ressaltar, é da transmissão de cargas para o solo, que são realizadas principalmente pela base que deve ser apoiada em um solo resistente. O diâmetro mínimo do fuste é de 70 cm, que possibilita a entrada de pessoa. Existem dois tipos principais deste elemento que são tubulão a céu aberto e tubulão a ar comprimido. Na NBR 6122, define tubulão como:

*“Elemento de fundação profunda, cilíndrico, em que, pelo menos na sua etapa final, há descida de operário. Pode ser feito a céu aberto ou sob ar comprimido (pneumático) e ter ou não base alargada. Pode ser executado com ou sem revestimento, podendo este ser de aço ou de concreto. No caso de revestimento de aço (camisa metálica), este poderá ser perdido ou recuperado”. (ABNT, 1996, p. 2)*

##### 2.1.2.2.1. Tubulão a céu aberto

Este tipo de fundação (Figura 24) é utilizado em casos que a base esteja apoiada em uma camada resistente e normalmente situada acima do lençol freático. Um risco comum durante o processo executivo é o desmoronamento das paredes do fuste, portanto providências devem ser tomadas a fim de que se evite tais ocorrências, como se caso for necessário a possível utilização de revestimento do fuste, servindo como uma contenção.

Figura 24 - Tubulão a Céu Aberto



Fonte: SITE CONSTRUÇÃO CIVIL (2012)

Tubulão pode ser escavado manualmente ou mecanicamente, a NBR 6122 define:

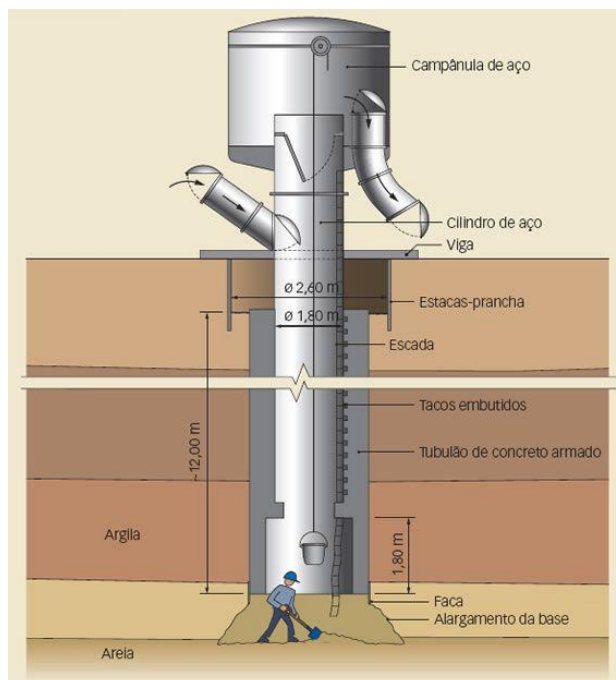
*“Os tubulões escavados manualmente podem ser dotados de base alargada tronco-cônica, só podendo ser executados acima do nível d’água, natural ou rebaixado, ou em casos especiais em que abaixo do seu nível seja possível bombear a água sem que haja risco de desmoronamento ou perturbação no terreno de fundação. Os tubulões escavados mecanicamente devem empregar equipamento adequado, podendo, neste caso, a base alargada ser aberta manual ou mecanicamente, quando em seco.” (ABNT, 1996, p. 25).*

#### 2.1.2.2.2. Tubulão a ar comprimido

Fundação empregada quando se pretende executar tubulões abaixo do nível d’água. A escavação do fuste destes tubulões é realizada com auxílio de revestimento que pode ser de concreto ou de aço perdido ou recuperado.

A campânula, como demonstrado na Figura 25, é instalada a acima do nível da terra, é uma câmara na parte superior do tubo de revestimento responsável pela injeção de ar comprimido no poço. Esse procedimento impede a entrada de água na escavação graças à pressão interna exercida.

Figura 25 - Tubulão a Ar Comprimido



Fonte: INFRAESTRUTURA URBANA (2012)

## 2.2. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM FUNDAÇÕES

O ritmo acelerado na construção civil ocasionou a necessidade de se construir em menos tempo e com mais economia, estes fatores tem gerado o surgimento de diversas manifestações patológicas.

É compreendida como manifestação patológica, toda aquela ocorrência que compromete o funcionamento esperado de uma determinada estrutura, defasando a eficiência do motivo pelo qual ela foi projetada.

Esses fenômenos precisam ser estudados, pois a existência ou não de problemas nas fundações pode depender de um vasto leque de variações e aspectos. Estes estudos são necessários para se identificar a origem, causas, quais são as principais manifestações, melhor técnica adotada para reparação e como evitar sua reincidência.

### 2.2.1. Origem

As manifestações patológicas são falhas que provém de erros cometidos nas seguintes etapas:

- Investigação do subsolo;
- Projeto das fundações;
- Execução das Fundações;
- Eventos pós-conclusão das fundações;
- Degradação dos materiais constituintes das fundações.

#### 2.2.1.1. *Investigação do Subsolo*

A investigação do subsolo é um processo indispensável para garantir bom funcionamento em todas as etapas construtivas de uma fundação eficiente. Pois a partir dessa investigação que será possível extrair informações do solo como suas características, classificação, propriedades e conseqüentemente o tipo de fundação adequada para este solo.

Esta é uma etapa muito negligenciada em detrimento da necessidade de se reduzir os custos, podendo gerar problemas futuramente. O projetista que não tiver conhecimento sobre o subsolo há grande possibilidade de a fundação ter seu dimensionamento calculado de maneira errada.

Um dos principais tipos de sondagem do solo é a de simples reconhecimento SPT (Standard Penetration Test), demonstrado na

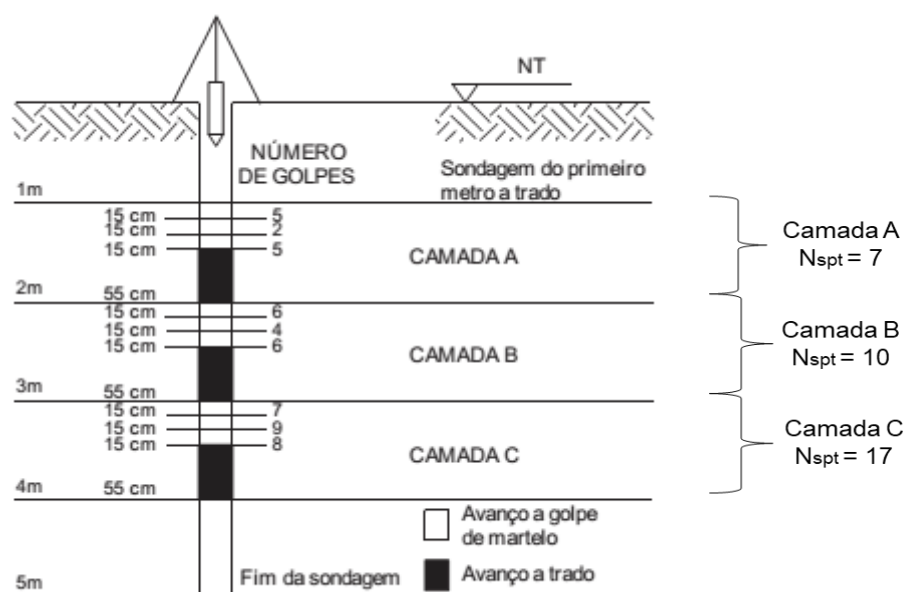
Figura 26, a qual é objeto da norma brasileira NBR-6484 que estabelece o princípio da sondagem como “Perfuração e cravação dinâmica de amostrador-

padrão, a cada metro, resultando na determinação do tipo de solo e de um índice de resistência, bem como da observação do nível do lençol freático.”.

Sondagem do tipo SPT consiste na penetração do amostrador padrão no terreno, através do uso de golpes do martelo de 65 Kg utilizado a uma altura de 75 cm, fornecendo o NSPT, número de golpes necessários para penetração do amostrador padrão.

A NBR 6484 define  $N_{spt}$  como “Abreviatura do índice de resistência à penetração do SPT, cuja determinação se dá pelo número de golpes correspondente à cravação de 30 cm do amostrador-padrão, após a cravação inicial de 15 cm. ”.

Figura 26 - Representação de Obtenção do  $N_{spt}$ .



Fonte: QUESTÃO TRT ANALISTA JUDICIÁRIO 18 REGIÃO GO (2013) com adaptação

A NBR 6484 define em seu item 6.4 os critérios de paralisação

- a) quando, em 3 m sucessivos, se obtiver 30 golpes para penetração dos 15 cm iniciais do amostrador-padrão;
- b) quando, em 4 m sucessivos, se obtiver 50 golpes para penetração dos 30 cm iniciais do amostrador-padrão; e
- c) quando, em 5 m sucessivos, se obtiver 50 golpes para a penetração dos 45 cm do amostrador-padrão. ” (ABNT, 2001, p.13)

#### 2.2.1.1.1. Ausência de Investigação

Por motivos econômicos, esta é uma pratica decorrente principalmente em obras de pequeno e médio porte. Nessa situação não há dados que permitam o real

conhecimento do comportamento do solo, como a existência de lençol freático e o seu nível, existência de matacões, presença de solo mole, assim tornando a execução da estrutura de fundação um processo arriscado e propenso à erros e dificuldades executivas. Na Tabela 4 mostra principais problemas ocorridos devido à ausência de Investigação do subsolo.

Tabela 4 - Problemas Típicos Decorrentes de Ausência de Investigação para os Tipos de Fundações

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 ao necessário.
	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 (2008, p. 28)

#### 2.2.1.1.2. Investigação Insuficiente

São investigações que não estão conforme os requisitos da NBR 8036, pois a mesma define que:

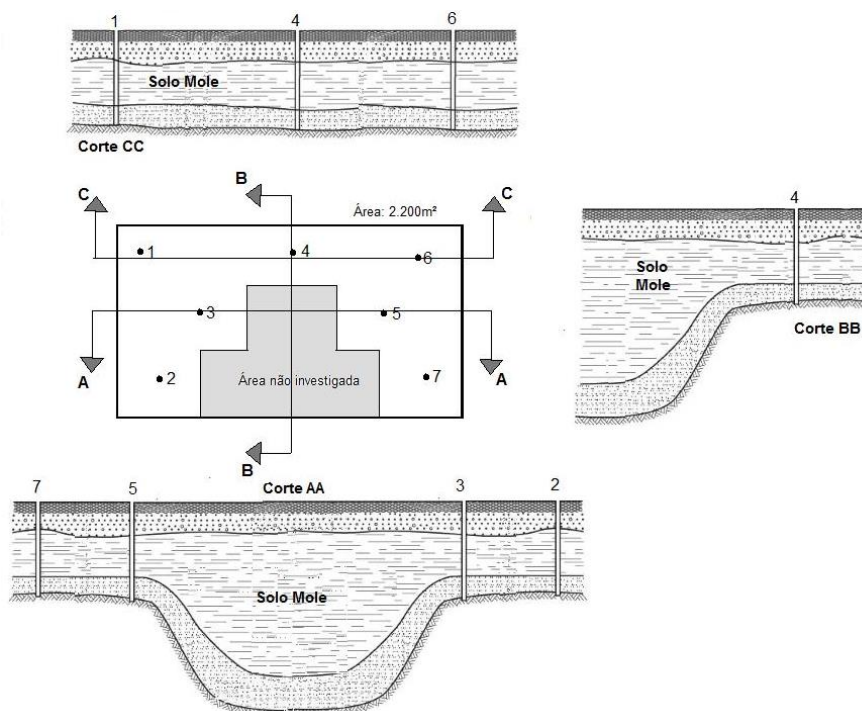
*“As sondagens devem ser, no mínimo, de uma para cada 200 m<sup>2</sup> de área da projeção em planta do edifício, até 1200 m<sup>2</sup> de área. Entre 1200 m<sup>2</sup> e 2400 m<sup>2</sup> deve-se fazer uma sondagem para cada 400 m<sup>2</sup> que excederem de 1200 m<sup>2</sup>. Acima de 2400 m<sup>2</sup> O número de*

*sondagens deve ser fixado de acordo com o plano particular da construção. ” (ABNT, 1983, p.1)*

A norma estabelece ainda que, em quaisquer circunstâncias o número mínimo de sondagens deve ser dois para área da projeção em planta do edifício até 200 m<sup>2</sup> e de três para área entre 200 m<sup>2</sup> e 400 m<sup>2</sup>.

Em casos que esta recomendação não é seguida, acarreta uma investigação insuficiente, pois não é capaz de se ter a real avaliação de toda área disponível e sim apenas uma parte dela. Isto leva a uma generalização das soluções de fundações, quando na realidade existe uma variação delas para cada tipo de solo, conforme a diferença de características do solo e diferença de espessuras de cada camada de solo, como demonstrado na Figura 27 a seguir, em que o terreno disponibiliza uma área total de 2.200 m<sup>2</sup>.

Figura 27 - Sondagem Insuficiente



Neste caso, a fonte: DYNAMICCAD (2018) com adaptações, o número de furos de sondagem, que corresponde a sete, sendo uma área que comporta 2.200m<sup>2</sup> necessitaria de nove furos (Figura 28) para estar em conformidade com a norma.



Figura 28 - Quantidade de Furos de sondagem

$$2.200 \text{ m}^2 \left[ \begin{array}{l} \frac{1.200 \text{ m}^2}{200 \text{ m}^2} = 6 \text{ Furos} \\ \frac{1.000 \text{ m}^2}{400 \text{ m}^2} = 2,5 \text{ Furos} \rightarrow 3 \text{ Furos} \end{array} \right] = 9 \text{ Furos}$$

Fonte: Autoria própria (2018)

Importante salientar a necessidade de complementação da investigação do subsolo por SPT após o impenetrável com uma sondagem do tipo rotativa para se avaliar a integridade do topo rochoso, para que a investigação do subsolo não se configure como insuficiente.

#### 2.2.1.1.3. Investigação com Falhas

São falhas executivas no ensaio de sondagem, como por exemplo nas sondagens do tipo SPT, em que não é seguido a metodologia e requisitos impostos da NBR 6484, onde o:

- Peso e a altura de queda não padronizados;
- Uso de amostrador não padronizado;
- Uso de perfuração com lavagem sem necessidade;
- Equipamentos defeituosos.

Esta adoção de procedimentos indevidos enquadra um serviço de sondagem desqualificado, pois comprometerá a fidedignidade do projeto executado posteriormente.

#### 2.2.1.1.4. Interpretação Inadequada da Investigação

Classificação táctil visual deficiente induzindo a adoção de parâmetros de solos não correspondentes ao extraído, assim também como erros na interpretação de dados do laudo SPT e na determinação do nível do lençol freático, levando a uma adoção do tipo de fundação inapropriada para a real situação.

“A adoção de valores não representativos ou ausência de identificação de problemas podem provocar desempenho inadequado das fundações.” (MILITITSKY, 2008, P.33)

### 2.2.1.2. Projeto

Projeto é a fase que sucede a investigação do subsolo e a planta estrutural da edificação, nesta etapa é essencial adotar medidas para garantir qualidade à fundação. Medidas estas que se enquadram no conhecimento das cargas estruturais atuantes nas fundações, da compatibilização entre os projetos, o correto detalhamento executivo, e definir materiais que deverão ser utilizados, assim como resistência adequada do concreto.

*“(...) o elemento de fundação é dimensionado estruturalmente, sendo então elaborada a planta de executiva (contendo todas as características da solução adotada e os detalhes executivos), que efetivamente é o que vai para canteiro, para construção. Um projeto de fundações inclui especificações construtivas, detalhando as indicações do projetista para a construção, bem como considerações e indicações de norma específica.” (MILITITSKY, 2008, p.56)*

#### 2.2.1.2.1. Previsão da Capacidade de Carga

Para a realização de um bom projeto é necessária uma análise detalhada de todos os dados fornecidos para confecção de uma fundação. O engenheiro projetista de fundações é o responsável que deve ter o conhecimento prévio do carregamento permanente, acidental e pontual da estrutura.

Os valores dos carregamentos devem ser fornecidos pelo projeto estrutural, conhecido também como planta de cargas, que, em conjunto com a análise do laudo de sondagem é possível se fazer a correta escolha do tipo de fundação e correto dimensionamento estrutural que atenda às necessidades dos carregamentos solicitantes e atenda também bom desempenho levando em consideração as características do solo em que a fundação será confinada.

Para a elaboração de um projeto eficiente, é também necessário levar em consideração as demais cargas atuantes, no caso as que estão presentes no solo que interferem no comportamento da fundação como o empuxo, pressão neutra, atrito negativo.

*“A definição das solicitações deve incluir considerações referentes ao próprio comportamento do solo (empuxos, atrito negativo e outros), e não somente às cargas permanentes e acidentais provenientes da superestrutura, as quais existirão ao longo da construção, do uso e da vida útil da estrutura.” (MILITITSKY, 2008, p. 55)*

#### 2.2.1.2.2. Compatibilização de projetos

O profissional designado por projetar a fundação, terá a responsabilidade de compatibilizar o projeto de fundação com os demais projetos funcionais necessários (elétrico, hidro sanitário, rede de comunicação, estrutural, hidráulico). A falta desta correta compatibilização acarretará em problemas durante o processo executivo, gerando deficiência na produtividade devido aos atrasos e gastos, para contornar as falhas originadas no projeto.

#### 2.2.1.3. Execução

A execução é a etapa determinante para caracterizar o sucesso ou fracasso de uma fundação. Para Milititsky (2008) as falhas de execução constituem o segundo maior responsável pelos problemas de comportamento das fundações.

Com a necessidade de se minimizar estas falhas é necessária a fiscalização durante processo construtivo afim de se verificar a conformidade com o que foi projetado conjuntamente com as normas vigentes.

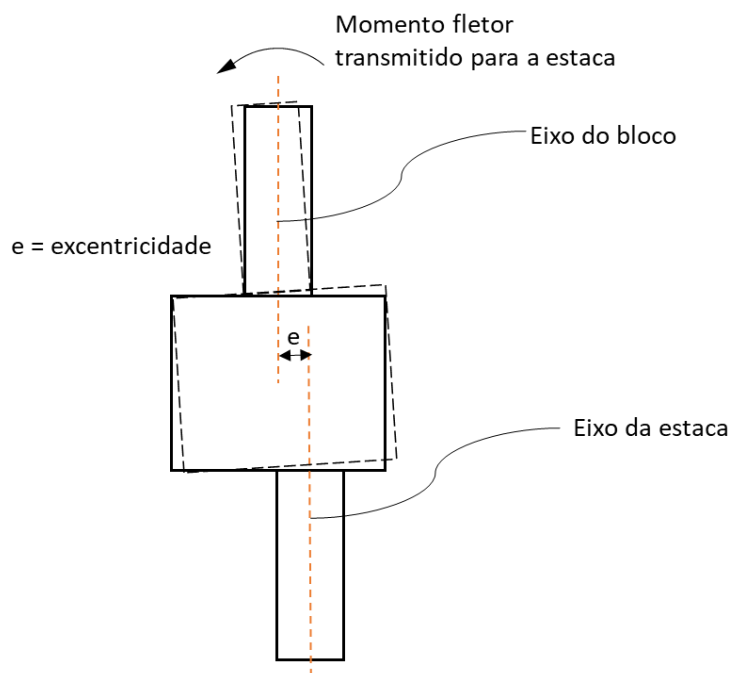
Dentre os erros na etapa executiva se enquadram o erro de locação da fundação durante sua execução (divergente do projeto), dimensionamento diferente ao que foi projetado, inclinação final executada em desacordo com projeto, falta de limpeza na cabeça da estaca ou tubulão comprometendo na aderência entre a fundação profunda com o bloco de coroamento, cota de arrasamento, cobertura nominal insuficiente.

##### 2.2.1.3.1. Erro de locação fora de projeto

De acordo com Milititsky (2008) este erro causa solicitações não previstas em vigas de equilíbrio, blocos de coroamento e nas próprias estacas.

A execução da fundação fora do local projetado é responsável por comprometer na forma em que o bloco de coroamento absorverá as cargas devido a excentricidade provocada, pois o eixo do bloco de coroamento deve coincidir com o eixo da fundação. Caso contrário ocorre a situação ilustrada na Figura 29.

Figura 29 - Excentricidade Devido ao Erro de Execução do Local da Estaca.



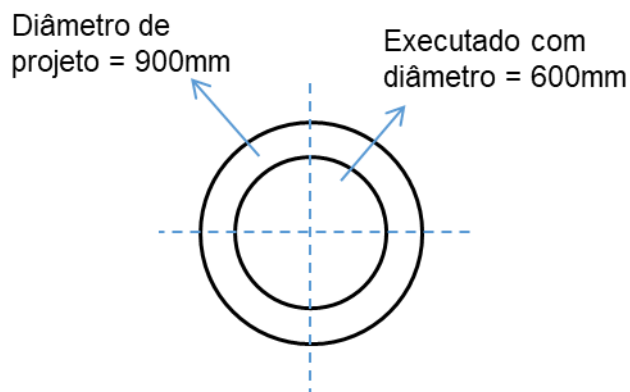
Fonte: (REBELLO, p. 133)

*“Esse erro provoca como principal consequência excentricidade entre a carga da superestrutura e o elemento de fundação. Essa excentricidade gera momento, o que pode resultar em distribuição não uniforme de tensões no solo, em fundações diretas, ou, o que pode ser mais grave, em momentos fletores em estacas não armadas para esse esforço.” (REBELLO, 2008, p. 133)*

#### 2.2.1.3.2. Dimensionamento diferente ao projeto

Erros de tamanho ou diâmetro das fundações para uma seção inferior ao projetada podem resultar em resistência insuficiente ao que foi projetada para suportar (Figura 30), podendo levá-la ao esmagamento ou ruptura.

Figura 30 - Dimensionamento Diferente o Projetado



Fonte: (MILITITSKY, p.96)

No caso de dimensionamento superior promove um maior consumo de materiais e tempo, gerando gastos adicionais não previstos, comprometendo o cronograma físico-financeiro.

#### 2.2.1.3.3. Inclinação final executada em desacordo com projeto

Ocorrência deste erro está ligado a dificuldade na etapa construtiva, como por exemplo o impedimento do correto acesso das máquinas responsáveis por confeccionar a fundação ou até mesmo falta da correta verificação do prumo do equipamento. As fundações mais executadas com inclinação no solo são as estacas do tipo raiz.

#### 2.2.1.3.4. Falta de limpeza entre elemento de fundação e bloco de coroamento

Este incidente influenciará diretamente a vinculação do bloco de coroamento com a fundação, ocorre em casos de demora da concretagem do bloco sem a limpeza do topo da estaca ou do tubulão havendo contaminação, ou acúmulo de impurezas entre as interfaces, que serão responsáveis por afetar na aderência entre os elementos estruturais, fazendo que naquela área se tenha uma área propícia a problemas e conseqüente queda de capacidade resistiva por perda do comportamento monolítico.

#### 2.2.1.3.5. Erro na cota de arrasamento

A NBR 6122 define cota de arrasamento como:

*“Nível em que deve ser deixado o topo da estaca ou tubulão, demolindo-se o excesso ou completando-o, se for o caso. Deve ser definido de modo a deixar que a estaca e sua armadura penetrem no bloco com um comprimento que garanta a transferência de esforços do bloco à estaca.” (ABNT, 1996, p.3)*

Preparo do topo de estacas é etapa crítica na execução de fundações, quando a cota de arrasamento é feita diferente do nível necessário resulta em emendas ou perda de espera de pilar. Em casos em que há o prolongamento do corpo para se atingir a cota de arrasamento deve ser seguido conforme preconiza a norma NBR 6122.

A NBR 6122 (ABNT, 1996, p.17) estabelece ainda que “Deve ser cortado o trecho danificado durante a cravação ou o excesso em relação à cota de

arrasamento. Caso a nova cota de topo esteja abaixo da cota de arrasamento previsto, deve-se fazer uma emenda de acordo com o disposto em 7.8.1.1.8. “

#### 2.2.1.3.6. Cobrimento nominal insuficiente

O cobrimento nominal é aplicado para oferecer proteção as armaduras, é uma barreira importante para evitar a corrosão do aço. Portanto, quando esta barreira é executada de modo ineficiente, as armaduras ficam sujeitas aos agentes agressivos do meio ambiente, que facilitam à corrosão do aço.

A corrosão compromete na capacidade de resistir aos carregamentos impostos pela superestrutura. Deste modo, existe uma espessura de cobrimento nominal em função do grau de exposição a intempéries do ambiente. Quando a proteção é insuficiente em relação à agressividade de um ambiente, as manifestações patológicas surgem em um ritmo mais acelerado

A NBR 6118:2014 preconiza que no trecho dos pilares em contato ao solo e os elementos de fundação a cobertura deverá ser de no mínimo 45 cm (Figura 31) para que a armadura tenha proteção necessária.

Figura 31 - Relação do Cobrimento Nominal em Função da Classe de Agressividade Ambiental

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV <sup>c</sup>
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje <sup>b</sup>	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo <sup>d</sup>	30		40	50
Concreto protendido <sup>a</sup>	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

<sup>a</sup> Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

<sup>b</sup> Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal  $\geq 15$  mm.

<sup>c</sup> Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

<sup>d</sup> No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal  $\geq 45$  mm.

Fonte: ABNT (2014)

#### 2.2.1.4. *Eventos Pós-Conclusão*

São erros ligados a etapa de utilização da edificação, como alterações no uso da edificação, ampliações e modificações não previstas em projeto, movimentação do solo por fatores externos, mau uso do solo devido a ação do homem e ação da vegetação.

##### 2.2.1.4.1. Alteração no uso da edificação

O projeto de fundação se respalda a saber previamente para qual função e quais atividades realizadas que a edificação terá que comportar, pois estas atividades irão influenciar diretamente no comportamento da fundação. Uma modificação de atividades desempenhadas pode acarretar acréscimos de carregamento não prevista em projeto, assim são denominadas sobrecargas, que afetam diretamente na capacidade da fundação e do solo de resistir a cargas não previstas.

##### 2.2.1.4.2. Ampliações e modificações não previstas em projeto

Ampliações e modificações estruturais geram alterações na distribuição dos carregamentos, reformas são procedimentos que acabam causando variações no comportamento das peças estruturais, por este motivo devem ser sempre acompanhadas com um profissional qualificado da área para identificar se as novas situações de distribuição afetam a segurança, funcionalidade e durabilidade das fundações.

##### 2.2.1.4.3. Movimentação do solo por fatores externos

A movimentação do solo pode ocorrer devido a fatores externos, inerentes aos carregamentos transmitidos da estrutura, como a construção de edificações vizinhas sem o estudo da capacidade do solo que já está atundo em uma edificação, assim acarretando a sobreposição do bulbo de tensões. Demais fatores responsáveis por gerar movimentação no solo são identificados também na compactação em terrenos vizinhos, escavações, demolições, explosões, rebaixamento do lençol freático

##### 2.2.1.4.4. Má utilização do solo

A má utilização do solo pelo homem consiste no incorreto despejo ou vazamento de produtos que afetam a qualidade e as características do solo, capazes de alterar o arranjo do solo, principalmente em solos expansivos e

colapsáveis, ou ainda produtos tóxicos capazes de comprometer a durabilidade da estrutura quando entram em contato com as fundações por atacar o concreto e fazendo-o perder sua resistência. (Óleo, ácidos, águas cinzas, fertilizantes que são ricos em sulfatos).

#### 2.2.1.4.5. Vegetação

A vegetação pode ser responsável também por causar danos as fundações, principalmente quando estas estão presentes em solos argilosos. As raízes da vegetação absorvem a água presente no solo, assim podendo alterar o volume ocupado pelo solo.

*"As raízes extraem água do solo para manter seu crescimento e vitalidade, modificando o teor de umidade do solo se comparado com o local onde as raízes não estão presentes. Em solos argilosos as variações em teor de umidade provocam mudanças volumétricas, conseqüentemente, qualquer fundação localizada na área afetada apresentará movimento e provavelmente patologia da edificação por recalques localizados. " (MILITITSKY, 2008, P.34)*

#### 2.2.1.5. Degradação dos Materiais Utilizados

Os materiais utilizados são um dos responsáveis por conferir durabilidade à estrutura de fundação, a ABNT NBR 6118:2014 em seu item 5.1.2.3 define "Durabilidade - Consiste na capacidade da estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e pelo contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto."

Deve-se haver o prévio conhecimento de todos os materiais que comporão a estrutura de fundação, assim também como suas proporções, isto é, desenvolver um traço que garanta a durabilidade da fundação. A escolha incorreta do traço influenciará na sua resistência, porosidade, trabalhabilidade.

Uma das principais medidas de proteção a degradação da fundação está relacionado quanto à sua porosidade, pois isso modificará a permeabilidade final do concreto, facilitando ou dificultando a entrada de agentes agressivos. O controle da porosidade é possível através da relação água cimento, como pode ser observado na Tabela 5, quanto menor a relação água cimento, menor deve ser sua porosidade, dificultando a entrada de agentes agressivos.



Tabela 5 - Correspondência entre a Classe de Agressividade e a Qualidade do Concreto

Concreto <sup>a</sup>	Tipo <sup>b, c</sup>	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40
<sup>a</sup> O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655. <sup>b</sup> CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado. <sup>c</sup> CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.					

Fonte: ABNT 6118 (2014)

Vale ressaltar a importância da execução da etapa de sondagem, pois a partir da identificação dos agentes agressivos contaminantes presentes no solo é possível a correta escolha de materiais adequados que sejam resistentes ao ambiente que estará envolvido. Um ambiente agressivo são aqueles onde há identificação de resistividade do solo, baixo valor de ph (potencial hidrogeniônico), teor de sulfatos e teor de cloretos.

A depender da agressividade em que o solo se enquadra, irá influenciar diretamente na escolha dos materiais que comporão as fundações, evitando a ocorrência de reações entre os materiais da fundação e os agentes agressivos presentes no solo. O principal material envolvido na fundação é o cimento, o mesmo deve ser compatível ao ambiente que estará confinado.

Para confecção de blocos de coroamento de grandes dimensões é recomendável a escolha por um cimento de baixo calor de hidratação, evitando assim a retração pela rápida perda de água.

Já para a execução de fundações em ambientes com maior presença de sulfatos, como por exemplo, as obras marítimas, fundações em contato com rejeitos industriais ou rejeitos de esgotos fazem com que estejam mais vulneráveis a esses ataques. Nessa situação o cimento adequado a ser utilizado é o cimento RS (Resistente ao sulfato),

O ataque por cloreto pode ocorrer pela presença de íons de cloreto na areia de composição do concreto ou o próprio ambiente proporcionar este ataque. O cloreto será o responsável por acelerar a corrosão nas armaduras. Para execução

de fundações em áreas sujeitas a ação de cloretos é mais indicado a utilização de cimentos de alto-forno, pozolânicos e com baixo teor de  $C_3A$  (aluminato tricalcio).

Para evitar ou reduzir o ataque por cloreto é necessário o conhecimento das características dos agregados e água utilizada, assim como também conhecimento da intensidade em que a fundação será exposta a ação externa dos cloretos impostos pelo ambiente.

“A presença de cloretos no concreto, adicionados involuntariamente a partir da utilização de aditivos aceleradores de endurecimento, de agregados e de águas contaminadas, acelera o processo de corrosão das armaduras.” MILITITSKY, 2008, p.171.

A brita escolhida não pode ser reativa com os álcalis presentes no concreto, evitando uma RAA (reação álcali-agregado) explicado no item 2.2.2.5. do presente trabalho.

### 2.2.2. Causas frequentes

São fenômenos responsáveis pelo aparecimento de manifestações patológicas, as principais causas de manifestações patológicas são a segregação, sobreposição do bulbo de tensões, calor de hidratação, recalques, reação álcali-agregado, ataque por sulfato, tratamento ineficiente de estacas metálicas.

#### 2.2.2.1. Segregação

É um fenômeno que pode ocorrer em fundações feitas de concreto armado, em que consiste na separação dos componentes do concreto fresco de tal forma que sua distribuição não seja mais uniforme. Esta separação é feita durante o lançamento do concreto, que dependendo da altura de queda, os materiais que tem densidades diferentes tendem a se desagregar.

Esta separação dos agregados com a argamassa de cimento gera descontinuidades no elemento de fundação, acarretando um comportamento não monolítico, isto é, uma distribuição de carga não uniforme, comprometendo na resistência final da fundação.

Com a finalidade de evitar esta problemática, a NBR 14931:2004 sobre execução de estruturas de concreto, em seu item 9.5 estabelece algumas precauções quanto ao lançamento para que se possa manter a homogeneidade do concreto.

*“O concreto deve ser lançado com técnica que elimine ou reduza significativamente a segregação entre seus componentes, observando-se maiores cuidados quanto maiores forem a altura de lançamento e a densidade de armadura. Estes cuidados devem ser majorados quando a altura de queda livre do concreto ultrapassar 2 m, no caso de peças estreitas e altas, de modo a evitar a segregação e falta de argamassa (como nos pés de pilares e nas juntas de concretagem de paredes). Entre os cuidados que podem ser tomados, no todo ou em parte, recomenda-se o seguinte: emprego de concreto com teor de argamassa e consistência adequados, a exemplo de concreto com características para bombeamento; lançamento inicial de argamassa com composição igual à da argamassa do concreto estrutural; uso de dispositivos que conduzam o concreto, minimizando a segregação (funis, calhas e trombas, por exemplo).” (ABNT, 2004, p.20)*

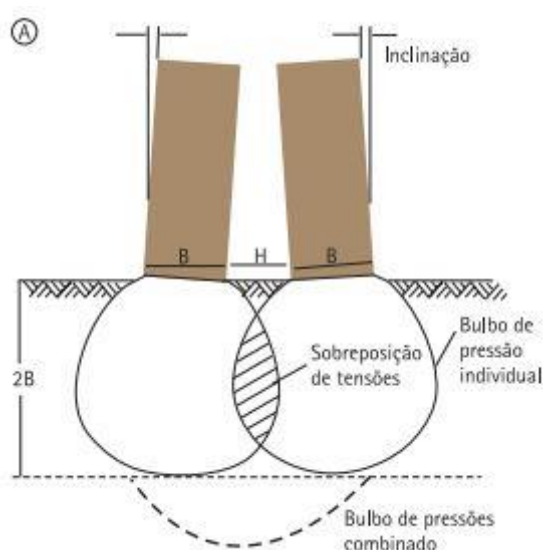
#### 2.2.2.2. Sobreposição do bulbo de tensões

Consiste na combinação da distribuição de cargas que se propagam no solo de dois ou mais elementos de fundação, em que sobrecarrega é superior a

capacidade de resistência do solo naquela faixa, conforme exemplificado na Figura 32.

Um modo de se evitar esta ocorrência, é através de sondagens para conhecer a capacidade de resistência do solo que terá que resistir as ações dessas fundações, e o controle de projeto para conhecimento de possíveis faixas onde haverá sobreposição do bulbo de tensões.

Figura 32 - Sobreposição do Bulbo de Tensões



Fonte: MILITITSKY (2008)

#### 2.2.2.3. Calor de hidratação

Fundações são elementos que possuem geralmente grandes dimensões, tornando elevado o consumo de cimento para sua confecção. O calor de hidratação está diretamente ligado à quantidade de cimento, pois este é um fenômeno que ocorre devido a reação de hidratação do mesmo, sendo um processo exotérmico, pois há liberação de calor.

Os fatores que influenciam a ocorrência do calor de hidratação são:

- O tipo de cimento;
- Clima – Vento, umidade, temperatura;

- Dimensões da peça;
- Tipo de fôrma.

O aumento de temperatura no interior da peça é responsável pela rapidez na evaporação da água de composição do concreto, esta evaporação leva a peça a retrair o que gera fissurações, como demonstrado na Figura 34.

Na tentativa de se evitar este problema, é necessária uma atenção aos fatores que influenciam no calor de hidratação, segundo Carneiro et al. (2011, p.15) são muitos fatores que influenciam a temperatura interna final atingida pelo concreto: tipo do cimento, quantidade de água, temperatura ambiente, temperatura de lançamento do concreto, espessura das camadas de concreto etc.

No caso de fundações profundas, o calor de hidratação comumente acomete nos blocos de coroamento, como exemplificado na Figura 33, onde há maior dificuldade em se dispersar o calor devido às dimensões, provocando fissuras (Figura 34) diferentemente das estacas e tubulões que por mais que sejam profundas há facilidade em se dispersar o calor por ser elemento mais esbelto.

Figura 33 - Preparação de Bloco de Fundação de 450m<sup>3</sup>



Fonte: Aula de Patologia Professor Nielsen Alves

Figura 34 - Fissuração Devido ao Calor de Hidratação



Fonte: Aula Patologia Professor Nielsen Alves

#### 2.2.2.4. *Recalque*

Segundo Rebello (2008, p. 57), recalque é a deformação do solo quando submetido a cargas, provocando movimentação na fundação que, dependendo da intensidade, pode resultar em sérios danos à superestrutura.

Existem fatores que facilitam estas deformações, como aplicação de cargas estruturais, variabilidade da presença de água em solos colapsíveis ou em solos expansivos.

As deformações devido a aplicação de cargas, segundo Milititsky (2008) podem ser classificadas em deformação elástica, deformação por escoamento lateral e deformação por adensamento. Sendo elástica a deformação imediata após a aplicação do carregamento, deformação por escoamento lateral é quando o solo é transferido de uma região mais solicitada para uma menos solicitada, normalmente do centro para as laterais e a deformação por adensamento que ocorre pela diminuição no volume aparente de solo, causado pelo fechamento de vazios devido a pressão que as cargas exercem sobre a fundação.

As deformações em solos expansivos se devem a presença de argilo-minerais expansivos que são responsáveis por variações significativas de volume no

solo, decorrentes de mudanças no teor de umidade. Este tipo de comportamento facilita a ocorrência de recalques, provocando problemas em fundações.

Para Cavalcante et al (2006, apud CARVALHO, 2010, p.21) define os solos expansivos como:

*“Solos não saturados que sofrem considerável variação volumétrica quando sujeitos a variações do teor de umidade. Portanto, seu comportamento é variável. Durante períodos de seca, se encontram geralmente com retração elevada, o que lhes confere resistência relativamente alta, dificultando sua escavação. Durante o período de aumento do teor de umidade (períodos chuvosos, infiltração de água decorrente de vazamentos, etc.), esses solos podem experimentar valores de expansão bastante expressivos.”*

Em solos colapsíveis, para Duran (1992 apud CARVALHO, 2010, p.18) define os solos colapsíveis como:

*“Solos não saturados nos quais se produz um rearranjo das partículas e uma grande perda de volume por ação da umidade com ou sem cargas, este tipo de solos dificulta a implantação de edificações. Os solos colapsíveis são formados, geralmente, por depósitos de areia e silte, podendo ser eólicos, depósitos aluvionares, solos residuais e tufos vulcânicos. A maioria destes solos são caracterizados por estruturas soltas de grãos do tamanho da areia e silte.”*

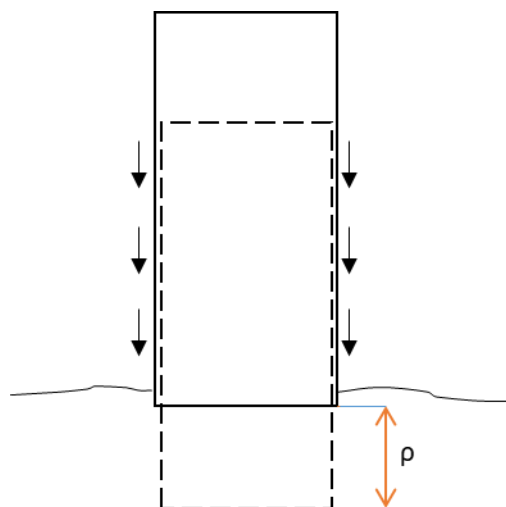
Essas características inerentes ao solo são fatores contribuintes e facilitadoras para o desencadeamento de recalques na estrutura, sendo eles classificados em:

- Recalque absoluto;
- Recalque diferencial;
- Recalque por distorção angular.

Recalque absoluto ( $\rho$ )

É o movimento uniforme e total de um elemento de fundação em conjunto com a superestrutura (Figura 35).

Figura 35 - Recalque Absoluto

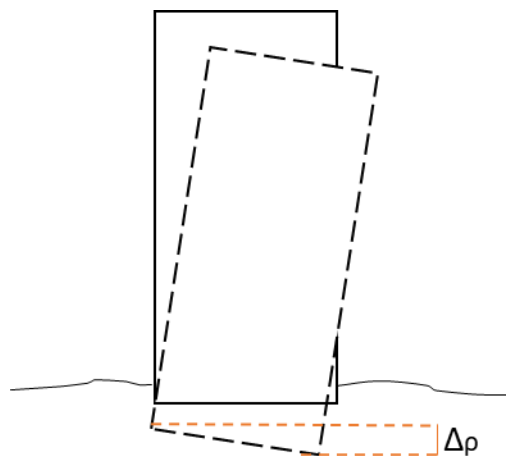


Fonte: Autoria própria (2018)

### Recalque diferencial ( $\Delta\rho$ )

Consiste na diferença de recalques entre dois pontos de fundações  $\Delta\rho = \rho_1 - \rho_2$ . (Figura 36).

Figura 36 - Recalque Diferencial



Fonte: Autoria própria (2018)

### Distorção angular ( $\gamma$ )

É a relação entre o recalque diferencial e a distância entre os elementos de fundação (Figura 37). Quanto menor o vão maior será o valor obtido no recalque por distorção angular, esse valor pode ser obtido pela fórmula.



$$\gamma = \frac{\rho_1 - \rho_2}{L}$$

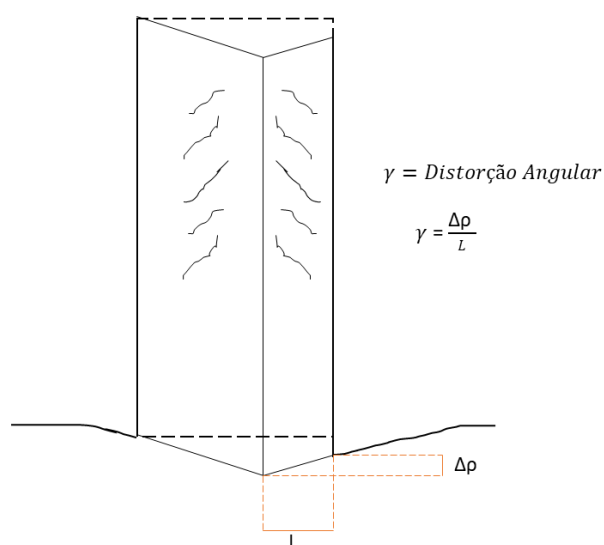
$\gamma$ : Distorção Angular

$\rho_1$ : Recalque sofrido de maior valor

$\rho_2$ : Recalque sofrido de menor valor

L: Distância entre os Recalques

Figura 37 - Recalque por Distorção Angular



Fonte: Autoria própria (2018)

#### 2.2.2.5. Reação álcali-agregado

É uma problemática que reduz potencialmente a durabilidade da fundação, a reação álcali agregado (RAA).

*“... ser definida como um termo geral utilizado para descrever a reação química que ocorre internamente em uma estrutura de concreto, envolvendo os hidróxidos alcalinos provenientes principalmente do cimento e alguns minerais reativos presentes no agregado utilizado. Como resultado da reação, são formados produtos que, na presença de umidade, são capazes de expandir, gerando fissurações, deslocamentos...” (SANTOS, 2012, p. 31)*

Por tanto, o RAA é a reação química entre o agregado reativo com os componentes alcalinos do concreto, gerando um gel que pode se expandir na

presença de água, resultando em tensões de tração do interior da peça de concreto que geram fissuras (Figura 38).

Figura 38 - Fissuração Devido a Reação Álcali-Agregado



Fonte: LPE ENGENHARIA (2015)

A ocorrência desta problemática em fundação tem um fator agravante por ser uma peça enterrada. Devido ao confinamento da fundação em um ambiente com presença de umidade, como o solo, facilita a expansão do gel originado pela RAA, em que conseqüentemente a fissuração ocasionada pelo gel expansivo facilita a entrada de agentes agressivos já presentes no solo.

#### 2.2.2.6. *Ataque por sulfato*

A depender das características e natureza do solo, pode ser ambiente que oferece riscos ao elemento de fundação, por ali estar presente, por exemplo, sulfatos que muitas vezes transportados pelo lençol freático causam danos quando em contato com as peças de fundação. Segundo Ciria Report C569 (2002, apud MILITITSKY et al, 2005, p.168), o mais significativo agente agressivo ao concreto de fundações é o sulfato, que tem ocorrência natural nos solos e em suas águas.

De acordo com o Building Research Establishment

*“...os fatores que influenciam o ataque por sulfatos são: (1) a quantidade e natureza do sulfato presente (quanto maior a concentração de sulfatos no solo ou na água subterrânea, mais severo será o ataque), (2) o nível da água e sua variação sazonal, (3) o fluxo da água subterrânea e a porosidade do solo, (4) a forma da construção e (5) a qualidade do concreto.” (2001, apud MILITITSKY et al, 2008, p.168),*

Quanto maior for a presença de sulfato, maior poderá ser a gravidade dos danos causados, conforme ACI Building Code 318-83 (1993, apud MILITITSKY et al,

2008, p.169), classifica quatro graus de severidade quanto a concentração de sulfato no solo e na água.

*“Ataque negligenciável: Quando o conteúdo de sulfato está abaixo de 0,1% no solo ou abaixo de 150mg/L na água.  
Ataque moderado: Quando o conteúdo de sulfato está entre 0,1% e 0,2% no solo ou no intervalo de 150mg/L a 1.500 mg/L na água.  
Ataque severo: Quando o conteúdo de sulfato está entre 0,2% e 2,0% no solo ou no intervalo de 1.500mg/L a 10.000 mg/L na água.  
Ataque muito severo: Quando o conteúdo de sulfato está acima de 2% no solo e acima de 10.000 mg/L na água. ”*

O sulfato presente no solo, e/ou transportado nas águas, penetra pelos poros do concreto endurecido e reage com os compostos da hidratação do cimento, formando a etringita e gipsita. Estes compostos ganham volume no interior do concreto, gerando fissuras na peça de fundação e causando sua perda de resistência.

#### 2.2.2.7. *Tratamento ineficiente de estacas metálicas*

O solo é onde pode-se haver concentração de muitos agentes agressivos, além de poder ser por natureza um solo com Ph ácido, o que são fatores necessários para que haja corrosão nas estacas metálicas.

Porém esta corrosão (Figura 39) acontecerá se estes fatores estiverem combinados com a ação da água e do oxigênio. No caso da inexistência de um deles, o processo de corrosão não acontecerá. A água é um fator comumente presente no solo, porém os níveis de oxigênio são escassos/deficientes. Segundo a GERDAU expõe que.

*“O processo de corrosão de uma estaca cravada em solos cujo pH esteja situado entre 4 e 10, isto é, quase que a totalidade dos solos naturais encontrados, é fundamentalmente dependente da presença simultânea de água e oxigênio. Na ausência de uma destas substâncias, a corrosão não acontecerá. O primeiro metro de solo apresenta certa oxigenação; abaixo disso, a concentração desta substância decresce rapidamente com a profundidade, e sua reposição é extremamente dificultada. ”*

Por estes motivos, requer uma atenção especial para solos onde há maior concentração do oxigênio, juntamente com presença de água, como locais úmidos ou com presença de lençol freático.

Figura 39 - Corrosão Estaca Metálica



Fonte: BERTOLDI

### 2.2.3. Como se apresentam

As manifestações patológicas são sinais identificáveis pelos usuários de presença de anomalias no comportamento da estrutura, evidenciando sintomas de algumas formas, sendo as principais identificadas como as fissuras, desaprumo, corrosão.

#### 2.2.3.1. Fissuras

Manifestação patológica que se apresenta em forma de abertura nos mais variados elementos da edificação como na alvenaria, revestimento ou até mesmo em elementos estruturais, podendo ser inofensivas ou indicar o prévio colapso de uma estrutura.

As fissuras são as formas de se identificar a presença de movimentação na edificação, muitas fissuras não oferecem riscos ao comportamento estrutural, porém podem interferir de forma negativa na durabilidade da edificação, por este motivo todas devem receber o tratamento adequado.

As fissuras tornam um caminho rápido para a entrada de agentes agressivos à estrutura. A fissura pode ser entendida como a manifestação patológica resultante do alívio das tensões entre as partes de um mesmo elemento ou entre dois elementos em contato (SOUZA e RIPPER, 1998).

Segundo Carvalho (2010, p. 162):

*“As fissuras são sintomas que ajudam a compreender os movimentos sofrido pela estrutura e diagnosticar as causas que originaram os problemas na fundação. O correto diagnóstico é de extrema importância para a escolha da solução mais adequada.”*

Além das fissuras que não denotam riscos estruturais, há aquelas que indicam uma maior gravidade, por apresentar uma maior espessura e maior profundidade. Algumas literaturas as abordam como trincas ou rachaduras, estas necessitam de uma atenção especial, principalmente quando se manifestam em elementos estruturais, sendo imprescindível a realização do monitoramento e análise das fissuras para identificar a origem e classificá-la como ativas ou inativas.

*“O tratamento de peças fissuradas está diretamente ligado à perfeita identificação da causa da fissuração, ou, dito de outra forma, do tipo de fissura com que se está a lidar, particularmente no que diz respeito à atividade (variação de espessura) ou não da mesma, e da*

*necessidade ou não de se executar reforços estruturais (casos em que as fissuras resultam de menor capacidade resistente da peça). ” (SOUZA, 1998, p.121)*

Geralmente, as tricas e rachaduras começam como uma fissura, por este motivo, se detecta a importância quanto à análise das fissuras e sua evolução ao longo do tempo, ou se a fissura permanece estável.

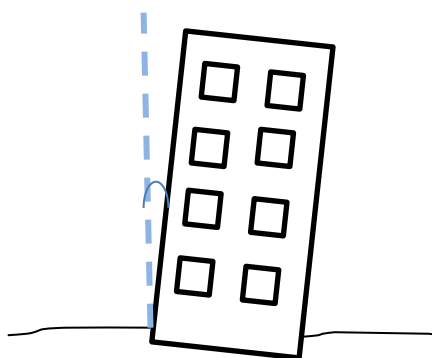
#### 2.2.3.2. Desaprumo

Consiste na perda de verticalidade da edificação, quando se há uma inclinação em relação ao eixo vertical (Figura 40).

O desaprumo de uma edificação é uma manifestação patológica proveniente do recalque diferencial das fundações. Além de causar um aspecto visual desconfortável, a inclinação também contribui para uma distribuição de cargas de maneira não uniforme na estrutura, deste modo, fazendo que uma parte esteja mais sobrecarregada que a outra.

Essa má distribuição, que por sua vez, é transmitida para as fundações, favorecendo para um aumento significativo no recalque já existente.

Figura 40 - Desaprumo da Edificação



Fonte: Autoria Própria (2018)

#### 2.2.3.3. Corrosão

É uma manifestação patológica facilmente identificável pela alteração na coloração e textura do metal, sendo a coloração avermelhada ou laranja e a textura com aspecto poroso, devido a ferrugem que é produto do processo de corrosão. Esta reação do metal se deve a combinação de fatores como gás oxigênio e água ou agentes agressivos que em contato com o metal reagem entre si.

Variados são os tipos de metais, por ter diferentes composições de ligas metálicas, o aço são ligas metálicas com teor de carbono de aproximadamente até 2%, sendo este um produto muito utilizado na construção civil, e utilizado também como fundação pré-moldada, por este motivo que esta manifestação quando acometida em peças de aço com funções estruturais, como fundações, leva à perda de resistência.

A ineficiência da capacidade resistente da fundação composta de aço, pode comprometer o funcionamento de toda a superestrutura, devido a sua perda de seção efetiva, por este motivo, as fundações pré-moldadas feitas de aço estão suscetíveis a esta manifestação patológica quando não se há a correta inspeção esporadicamente.

Portanto pode-se observar a importância que as manutenções e inspeções têm para as estruturas de fundação, que são obras geotécnicas enterradas, e de difícil acesso para observação do usuário identificar a presença de anomalias nestas estruturas.

## 2.3. CONTROLE DE QUALIDADE DE FUNDAÇÕES

Uma fundação eficiente é aquela em que todos os procedimentos necessários para sua confecção estão embasados nas questões de segurança, funcionalidade e durabilidade, sendo estes os três fatores que refletirão diretamente no bom desempenho da fundação garantindo sua qualidade. Para isto, torna-se importante a intervenção das fiscalizações a fim de se verificar o real comprometimento com estas questões.

A fiscalização busca garantir os corretos procedimentos durante o projeto, execução e o posterior controle do desempenho oferecido pela peça estrutural. “Uma boa fundação é aquela que tem como apoio um tripé harmonioso, constituído pelo projeto, pela execução e pelo controle.” (Alonso, 1991, p.4)

### 2.3.1. Controle de projeto

A NBR 6118 em define alguns requisitos de qualidade do projeto em seu item 5.2.1 que é a qualidade da solução adotada

*“A solução estrutural adotada em projeto deve atender aos requisitos de qualidade estabelecidos nas normas técnicas, relativos à capacidade resistente, ao desempenho em serviço e à durabilidade da estrutura. A qualidade da solução adotada deve ainda considerar as condições arquitetônicas, funcionais, construtivas (ver ABNT NBR 14931), estruturais, de integração com os demais projetos (elétrico, hidráulico, ar-condicionado e outros) explicitadas pelos responsáveis técnicos de cada especialidade com a anuência do contratante.” (ABNT, 2014, p.13)*

Com base nos dados coletados da investigação do subsolo e planta de cargas da edificação é possível realizar um projeto que selecione o tipo de fundação adequada os materiais utilizados e o método construtivo que será empregado. O controle presente nesta fase está em um projeto com a preocupação de se especificar os detalhamentos necessários para a sua execução, sem margem para possíveis erros.

O devido controle por parte dos projetos também está ligado à plataforma BIM (Building Information Model) o qual significa Modelagem da Informação da Construção, que visa compatibilizar os projetos de toda uma edificação, incluído a



fundação, para que entre elas não haja nenhum tipo de intercorrência durante sua execução evitando possíveis problemas futuros.

### 2.3.2. Controle de execução

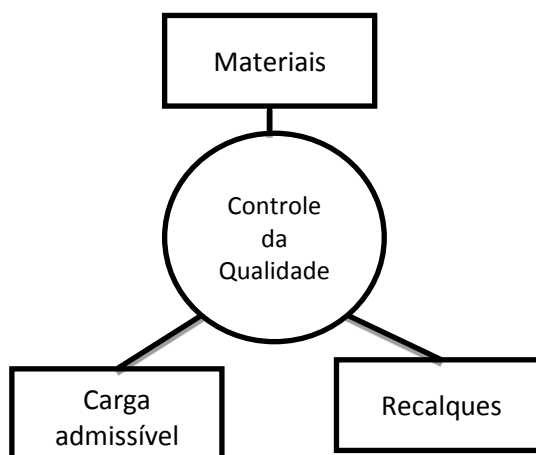
Durante a execução de uma fundação, segundo Alonso (1991 p.6) determina três frentes distintas (Figura 41) para se atingir a qualidade das fundações sendo elas:

*“Frente 1: O controle do material ou dos materiais que comporão os elementos estruturais da fundação, tanto no que diz respeito à sua seleção, quanto às suas resistências, sua integridade estrutural e sua durabilidade.*

*Frente 2: Controle da capacidade de carga do binômio solo-fundação. Esse controle deve ser exercido durante a fase de instalação dos elementos estruturais que comporão a fundação. Nesse controle deve ser escolhido e testado um número significativo de elementos para permitir a extrapolação de seus resultados a toda à fundação.*

*Frente 3: Observação do comportamento da fundação, à medida que esta vai sendo carregada pela estrutura. Para isso deve-se estabelecer um período mínimo de observação, a ser fixado em função da finalidade da construção. Para esse controle, são necessárias medidas de recalques e de cargas reais atuantes na fundação. ”*

Figura 41 - Etapas do Controle de Qualidade em Fundações



Fonte: Alonso (1991)

Durante o processo de execução das fundações é de grande importância avaliar se o solo está conforme o que foi especificado no programa de sondagem

assim como também o correto comprimento de todos os requisitos impostos no projeto.

Em fundações pré-moldadas, é importante o exercício do controle de cravação de estacas, sendo este controle a nega, repique elástico e diagrama de cravação.

### 2.3.3. Controle tecnológico para verificação da qualidade e do desempenho

Para se comprovar a capacidade dos elementos estruturais de fundação durante a sua vida útil e assim verificar requisitos como os graus de segurança, funcionalidade e durabilidade, é ideal a realização de ensaios que indicam o seu real desempenho.

Para isso, os ensaios realizados nesse processo são:

- Controle de cravação – Estacas cravadas;
- PIT - controle de integridade das fundações;
- Prova de Carga Estática PCE;
- Ensaios de Carregamento Dinâmico PDA (Pile Driving Analyser).

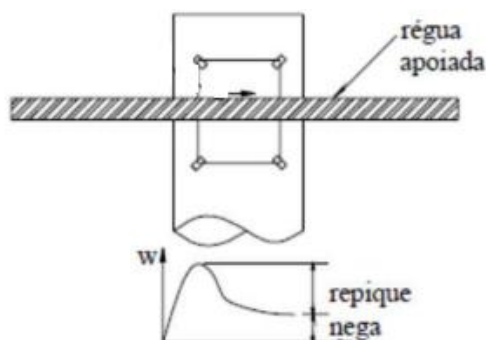
## **CONTROLE DE CRAVAÇÃO**

São métodos que avaliam as fundações profundas (estacas) no âmbito de comportamento do conjunto solo-fundação sob carregamento para a sua cravação.

Os métodos fazem parte de um conjunto de medidas para garantir a qualidade de um serviço de fundação. A observação da resposta a cravação pode ser feita de diferentes maneiras, uma delas se caracteriza como a medição da nega, o repique elástico e o diagrama de cravação. A nega e o repique elástico podem ser obtidos como representado na Figura 42.

- A nega é a penetração permanente da estaca devido ao golpe;
- Repique elástico corresponde ao comportamento elástico do solo no momento da cravação;

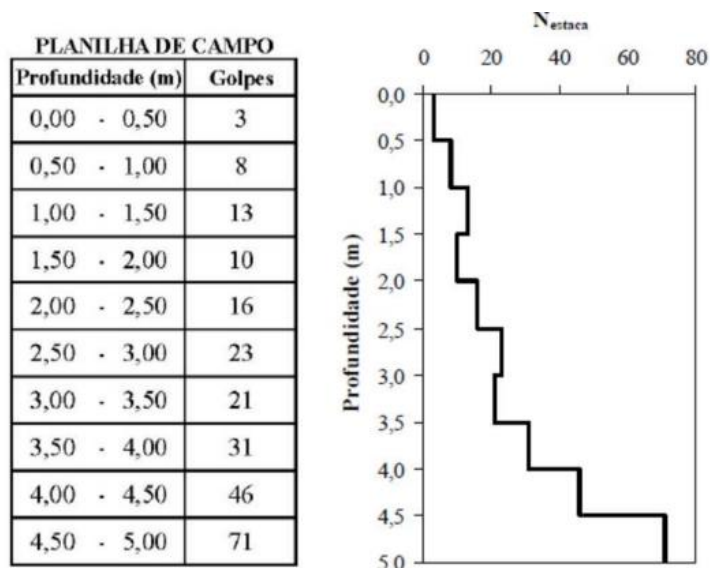
Figura 42 - Resposta à Cravação



Fonte: FARIAS, R. PARANHOS, H. (2018)

Já o diagrama de cravação é desenvolvido a partir de um número de golpes necessários para cravação de um comprimento de estaca já pré-estabelecido. Esta quantidade de golpes possui uma relação direta com a nega, pois pela divisão do comprimento escolhido com o número de golpes do martelo se obtém o valor médio da nega naquele comprimento. A Figura 43 mostra em exemplo do registro do diagrama de cravação.

Figura 43 - Planilha e Diagrama de Cravação



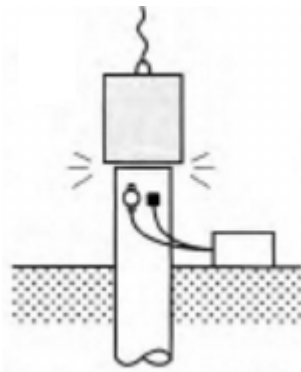
Fonte: FARIAS, R. PARANHOS, H. (2018)

## PIT

Consiste em uma investigação para que se possa avaliar a integridade do elemento de fundação, o método mais utilizado atualmente é o de impacto dinâmico

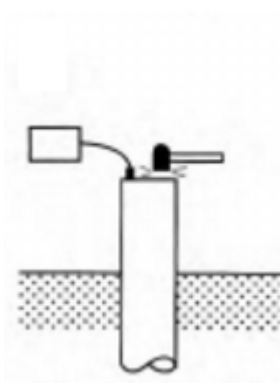
e neles são existentes o de grande deformação (Figura 44) e o de pequena deformação (Figura 45).

Figura 44 - Ensaio de Grande Deformação PIT



Fonte: Velloso (2010 p. 423)

Figura 45 - Ensaio de Pequena Deformação PIT



Fonte: Velloso (2010 p. 423)

Segundo Velloso (2010) o ensaio de grande deformação é feito por meio de golpe de um martelo de bate estacas e a interpretação é realizada a partir dos registros de força e de velocidade feitos por um analisador de cravação.

A interpretação é fundamentada nos dados fornecidos pelo analisador de cravação, onde a onda de tensão que se propaga ao longo da fundação ao encontrar uma variação ou descontinuidade irá sofrer uma reflexão, sendo tempo que a onda refletida leva para chegar ao topo da fundação que irá indicar a localização da descontinuidade.

Já no ensaio de pequena deformação, para Velloso (2010) é feito com um golpe de martelo manual aplicado no topo da fundação, com o auxílio de um

acelerômetro para registrar o tempo que a onda de tensão gerada pelo golpe volta ao topo da fundação, e a partir dos dados obtidos infere-se o comprimento do trecho íntegro da estaca. Sendo que apresenta resultados mais exatos em fundações não muito longas, com profundidade de até 30 vezes o diâmetro.

Portanto a realização do PIT é uma etapa importante para a verificação da integridade da estaca após sua execução.

Segundo Velloso (2010, p. 422) esta verificação é realizada em:

*“Estacas pré-moldadas de concreto (ou mesmo metálicas), que podem ter sido danificadas no processo de cravação;*

*Estacas moldadas in situ tipo Strauss, franki ou hélice, que podem ter sofrido estrangulamento de fuste com o concreto ainda fresco;*

*Tubulões e estacas escavadas moldadas in situ, que podem ter sofrido falhas no processo de concretagem, como "juntas frias" (quando a concretagem é interrompida e fica uma fina camada de lama entre os dois concretos), desmoronamentos etc.”*

## **PCE**

O procedimento para execução de PCE (Prova de Carga Estática) é abordada pela ABNT NBR 12131:2006, a técnica é adotada principalmente com a finalidade de verificação de desempenho de um elemento estrutural de fundação quanto à ruptura e aos recalques.

A prova de carga estática é uma das técnicas mais difundidas de ensaio para a determinação da capacidade de carga de estacas.

Segundo a ABNT NBR 12131:2006, as cargas são aplicadas, em geral, por meio de macaco hidráulico calibrado, centradas em relação ao eixo da fundação e sem provocar vibrações e choques durante o carregamento. Em caso do ensaio com carga máxima muito elevada, utiliza-se um conjunto de macacos hidráulicos, com sistema elétrico ou manual de acionamento simultâneo para todo o conjunto.

É recomendável que toda obra tenha, pelo menos, 1% das estacas verificadas com uma prova de carga estática e, muito importante, deve-se ter em mente que os ensaios de carregamento dinâmico não substituem as provas estáticas. (Velloso e Lopes, 2010).

A partir dos dados obtidos em campo, é possível se obter informações como

- Curva carga x deslocamento;
- Capacidade de carga da estaca;
- Recalque associado à carga de trabalho;
- Parcelas de resistência de ponta e atrito lateral;
- Coeficiente de segurança do estaqueamento.

## **PDA**

Prova de carga por carregamento dinâmico é regida pela norma ABNT NBR 13208:2007. Neste procedimento o carregamento a ser aplicado é de forma dinâmica, por meio de golpes de um sistema de percussão adequado.

É feita a instalação de sensores no fuste da estaca responsáveis pela aquisição de dados, além de permitir a visualização em tempo real das medições e armazená-las em banco de dados. Comumente são usados dois tipos de sensores:

- Sensor de deformação: este sensor gera uma tensão proporcional à deformação sofrida pelo material da estaca durante o golpe. Para a obtenção da evolução da força em relação ao tempo, o sinal destes sensores é multiplicado pelo módulo de elasticidade do material da estaca e pela área da seção na região dos sensores. Por isso, esses sensores também são chamados de sensores de força.
- Acelerômetro: este sensor gera uma tensão proporcional à aceleração das partículas da estaca. O sinal de cada um dos acelerômetros é integrado para a obtenção da evolução da velocidade de deslocamento da partícula com o tempo. Por isso, esses sensores também são chamados de sensores de velocidade.

Segundo Velloso (2010, p.288)

*“... a duas famílias de métodos dinâmicos: na primeira estão as chamadas "Fórmulas Dinâmicas" e, na segunda, as soluções da "Equação da Onda" (equação da propagação de ondas de tensão em barras). As Fórmulas Dinâmicas utilizam leis da Física que governam o comportamento de corpos que se chocam. As soluções da Equação da Onda estudam a estaca como uma barra ao longo da qual se propaga uma onda de tensão (ou força) gerada pelo golpe do*

*martelo, sujeita a atenuação, pela presença do solo que envolve a estaca. ”*

### **3. METODOLOGIA**

Para alcançar os objetivos propostos neste estudo, adotou-se como procedimento de pesquisa os seguintes itens:

- Por meio de pesquisas bibliográficas, a fim de obter informações relevantes acerca do tema estudado que fundamentem o propósito deste trabalho;
- Apresentação de estudo de caso, com intuito de demonstrar uma situação real e detalhada sobre problemática na fundação;
- Recomendações de boas práticas para o setor construtivo, como um acompanhamento de desempenho tecnológico, fiscalização e manutenção.



## 4. ESTUDOS DE CASO

Neste trabalho são apresentados dois estudos de casos que fazem referências ao surgimento de manifestações patológicas decorrentes de inconformidades nas fundações profundas tipo estacas moldadas in loco.

### 4.1. ESTUDO DE CASO 1 - ESTACA FRANKI

O estudo de caso em questão foi publicado na revista concreto e construções do primeiro trimestre de 2010 na seção - Solucionando problemas: Lições aprendidas sobre recalques em fundações. No artigo foram abordadas as origens e causas que levaram quase ao colapso um edifício que apresentou recalques elevados, bem como o método de recuperação empregado.

#### 4.1.1. Caracterização da obra e apresentação da problemática

O prédio alvo da investigação faz parte de um condomínio formado por duas torres: o Bloco 1 com 13 pavimentos e o bloco 2 com 14 pavimentos.

O prédio do estudo de caso correspondeu a torre com 14 pavimentos, onde surgiram manifestações patológicas devido ao recalque da fundação. No outro bloco com 13 pavimentos não foi observado nenhum recalque, não sendo objeto do estudo naquele momento.

Buscando o histórico do bloco 2, destaca-se que após a execução da fundação ocorreu uma mudança do projeto do prédio, onde foi adicionado um pavimento destinado a vagas garagens, contudo não foi realizado um projeto de reforço na fundação já existente a fim de receber esta carga adicional.

Com relação ao tipo de fundação executada, foi realizada fundação em estaca moldada in loco - tipo franki, porém com o acréscimo do pavimento de garagens, as cargas ultrapassaram a capacidade do conjunto de estacas, e para isto, foram previstos pilares adicionais, como no exemplo o pilar P27A (Figura 46), criado próximo ao pilar P27, sendo a fundação desses pilares adicionais executada em perfis metálicos, já que o equipamento de estaca franki não mais estaria disponível por várias semanas.

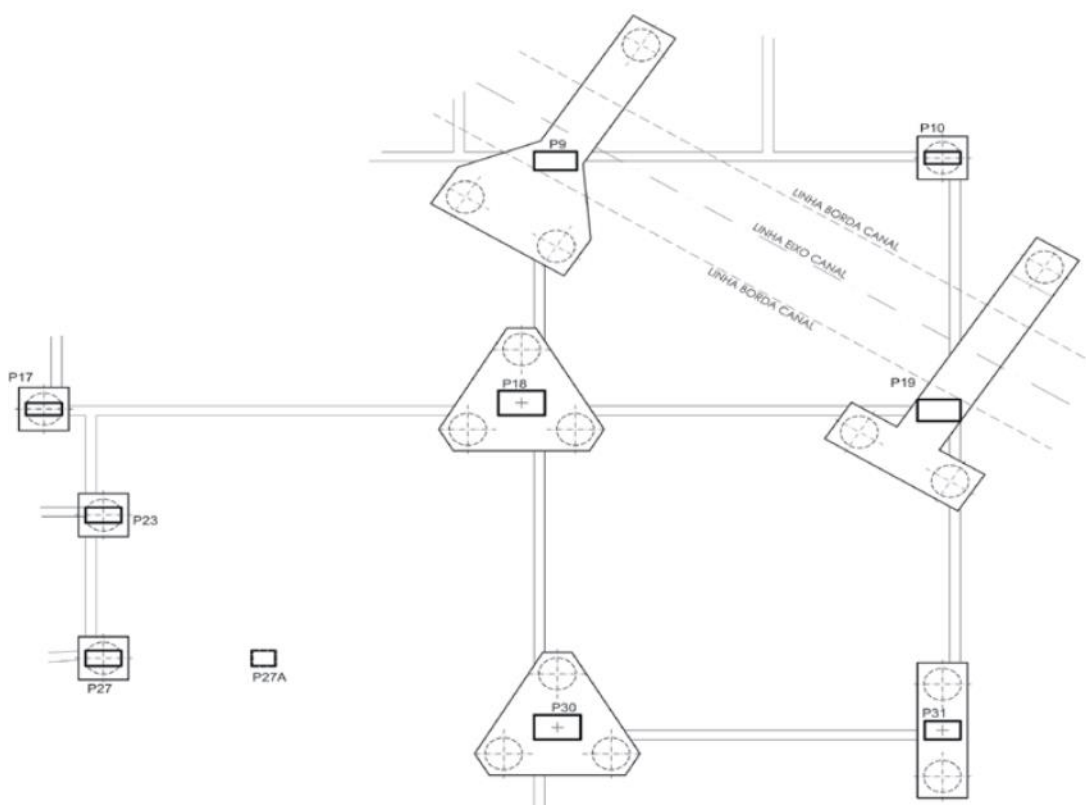
Figura 46 – Planta de fôrma - Pilar Adicional P27A



Fonte: PILZ, S. E et all (2010)

Já nos pilares P9 e P19, em função da existência de uma galeria pluvial, conforme indica a Figura 47, foi necessária a execução de um misto de bloco de coroamento/viga de equilíbrio para garantir a estabilidade estrutural do conjunto.

Figura 47 - Demonstração dos Blocos de Coroamento



Fonte: PILZ, S. E et all (2010)

Este prédio estava em fase de início de ocupação, quando foi verificada pelos engenheiros da empresa construtora a presença de pequenas fissuras em algumas

paredes dos apartamentos. Um breve diagnóstico do projetista da estrutura foi que essas fissuras, muito provavelmente, se deviam a recalques diferenciais nas fundações e que a construtora deveria efetuar o monitoramento das fissuras para verificar se estavam ativas.

Desta forma, enquanto se monitoravam as fissuras, percebeu-se que as mesmas continuavam ativas, concluindo que os recalques não estavam estagnados, e sim em movimentação bem significativo, como pode ser percebido na Figura 48 e na Figura 49.

Figura 48 - Fissuras na Alvenaria.



Fonte: PILZ, S. E et all (2010)

Figura 49 - Fissuras na Alvenaria.



Fonte: PILZ, S. E et all (2010)

#### 4.1.2. Origem da manifestação Patológica

Foram identificados erros nas etapas de investigação do subsolo e de projeto.

A investigação realizada foi o SPT, em um total de 06 furos no terreno, sendo o furo 1 localizado na região dos recalques (Figura 50).

Figura 50 - Laudo de Sondagem do Furo 1

Cotas(m)		STANDART PENETRATION TEST (S.P.T.)				Sondagem n°		
RN=100,00 Furo=95,76		*diametro revestimento:21/2				2		
Datas: n°= 11/08 fm= 11/08		barrilete amostrador: diam. externo: 50,80mm diam. interno: 34,40mm				furo n° 1 folha n° 2 esc. vert.: 1:10		
nível	ótima	n° de golpes			A	prof.	número de golpes	MATERIAL
(m)	(m)	1ª	2ª	3ª	M	(m)	(1ª+2ª) interrompidos (2ª+3ª) contínua	classificação macroscópica (tátil e visual)
		Perfurado a trado			1	1,00		Argila vermelha
11,0m	1,90	2	2	2	2	2,00		Argila vermelha MOLE
		1	0,7	0,7	3	3,00		Argila vermelha MUITO MOLE
		1	0,7	0,7	4	4,00		Argila vermelha MUITO MOLE
		5	5	8	5	5,00		Argila vermelha pouco siliosa pigmentada RUA
		5	5	7	6	6,00		Argila vermelha pouco siliosa com veios amarelos RUA
	99,5	28	12	06	3	6,20		Silt argiloso pigmentado amarelo e preto RUA
					5	8,00		IMPENETRÁVEL A PERCUSSÃO
					9	9,00		
					10	10,00		
					11	11,00		

Fonte: PILZ, S. E et all (2010)

A sondagem SPT, na maioria dos casos, é considerada suficiente, não tendo sido realizado nenhum outro tipo de investigação complementar. Esta é uma prática predominante na Engenharia de fundações no Brasil. Porém, o mais correto seria a realização de uma sondagem onde o SPT fosse complementado com sondagem rotativa (para obtenção de amostras de materiais rochosos) para verificação da integridade da camada suporte.

O laudo do furo 1 revela a presença de argila mole a muito mole. Isso levaria a uma consideração que para execução de estacas, a sua capacidade de carga lateral seria praticamente desprezada, atuando assim pela sua capacidade de resistência de ponta.

Devido à falta de complementação com uma sondagem rotativa, por tanto as estacas franki tiveram sua base apoiada sobre um matacão ou em falso topo rochoso, que gerou recalques.

Quanto aos erros de projeto, a construtora responsável da obra, contratou uma empresa especializada para analisar a sondagem, realizar os projetos e para a execução das estacas franki com  $\varnothing$  52cm que possui capacidade de resistência de 450kN.

Conforme foi analisado posteriormente, as fundações franki executadas estavam sob ação de carregamentos na margem de 1300KN a 1500KN. Os carregamentos estavam assim distribuídos:

- P09 = 2135 kN
- P10 = 1475 kN
- P17 = 1375 kN
- P18 = 3330 kN
- P19 = 2630 kN
- P23 = 1355 kN
- P27 = 1650 kN
- P30 = 3345 kN
- P31 = 2220 KN

Em relação aos carregamentos potencializados pelo pavimento adicional destinado a garagem, configuram problemas originados por erros de projeto, identificando a ineficiência de avaliação das cargas em que a fundação seria submetida, podendo levar até ruptura das fundações.

#### 4.1.3. Causas das manifestações patológicas

Devido à combinação de falhas identificadas na investigação do subsolo e no projeto, manifestações patológicas surgiram na superestrutura e foram causadas pelo recalque diferencial e distorções angulares.

O acréscimo de carregamento do pavimento destinado à garagem, a necessidade de execução do pilar adicional P27A com fundação metálica gerou heterogeneidade no comportamento das fundações. O pilar adicional P27A sobre

estaca metálica não ocorreu recalque, já o pilar P27 sobre a estaca franki sofreu um recalque de 9cm, gerando, que em função do vão entre os pilares P27 e P27A, uma distorção angular na viga VY4 de 1/25 como demonstrado na equação a seguir.

$$\gamma = \frac{\rho_1 - \rho_2}{L} = \frac{9 - 0}{225} = 0,04 = \frac{1}{25}$$

$\gamma$ : Distorção Angular

$\rho_1$ : Recalque sofrido de maior valor

$\rho_2$ : Recalque sofrido de menor valor

L: Distância entre os Recalques

A Figura 51 mostra a evolução das fissuras devido a distorção angular na VY4 causada pelo recalque diferencial entre os pilares 27A e o P27.

Figura 51 - Evolução da Fissura na Viga VY4

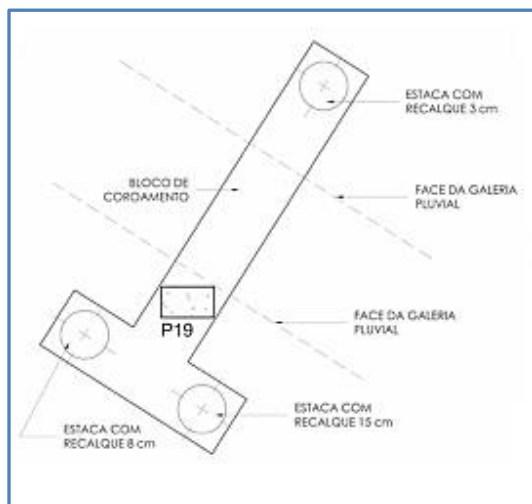


Fonte: PILZ, S. E et all (2010)

Outro agravante foi o detectado no pilar 19 (Figura 52). No 1º (primeiro) dia de monitoramento não foi detectado nenhuma fissura, porém já no 2º dia (Figura 53), surgiram fissuras consideráveis, sendo essas devido a um shaft (poço ou compartimento para passagem de tubulações verticais) ao lado deste pilar.

Figura 52 - Pilar 19 Planta de Forma.

Figura 53 - Fissuras Pilar 19 no 2º dia de monitoramento.



Fonte: PILZ, S. E et all (2010)



Fonte: PILZ, S. E et all (2010)

As fissuras do P19 se devem também ao recalque diferencial elevado entre as estacas vinculadas no mesmo bloco/viga, que acabou por ocasionar a sua ruptura parcial por esforços de flexão e torção.

Quando já se iniciaram os procedimentos de recuperação emergencial do mesmo (Figura 54), apresentava fissuras indicativas de ruptura pelos esforços combinados de compressão, flexão e torção, esta originada pela rotação do bloco de fundação em função do recalque diferencial entre as estacas do mesmo bloco.

Figura 54 - Recuperação Imediata do Pilar 19.



Fonte: PILZ, S. E et all (2010)

Ao final do terceiro dia, quando foi finalizado o escoramento em dois andares do bloco 2, os recalques se estabilizaram.

Outro pilar que merece destaque é o pilar 33 onde apresentou problemáticas com fissuras no contra piso próximo a sua estrutura, já no primeiro dia (Figura 55).

Figura 55 - Fissuras Próximas ao Pilar 33.



Fonte: PILZ, S. E et all (2010)

#### 4.1.4. Manifestações Patológicas

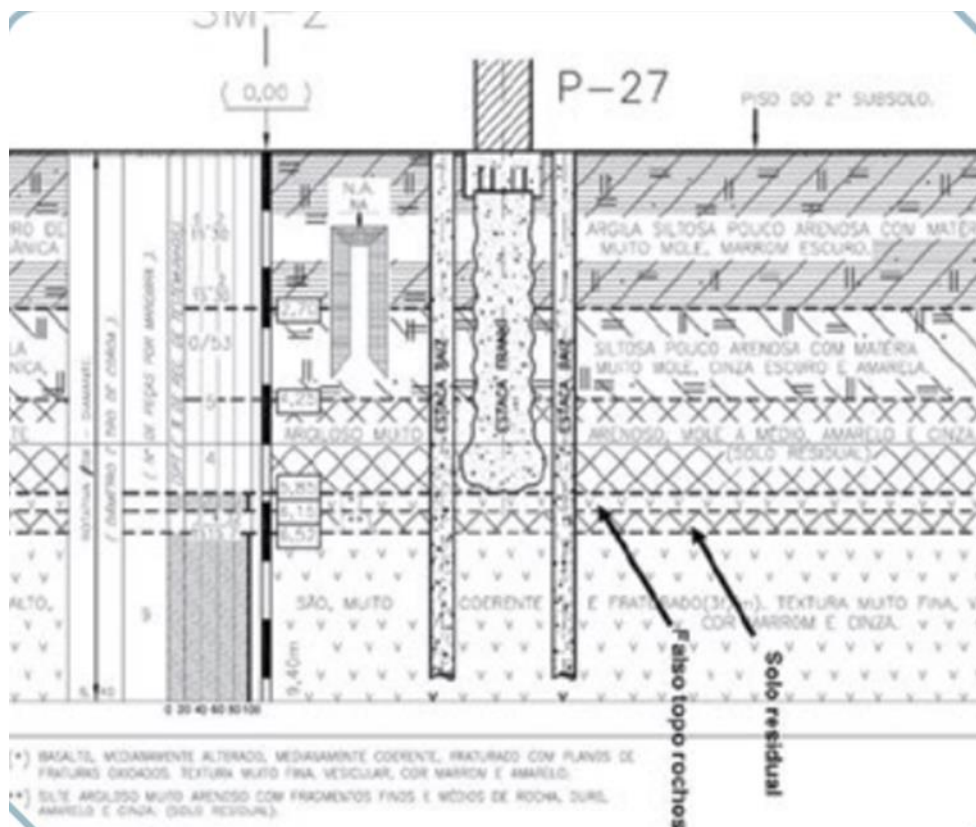
Como observado, a manifestação patológica foi identificada previamente em forma de fissuras que por meio do monitoramento as classificou como ativas, que evoluíram para uma maior espessura, atingindo uma grande profundidade, infelizmente este dado numérico não chegou a ser mencionado no artigo.

#### 4.1.5. Recuperação

Previamente à recuperação das fundações, realizaram-se sondagens mistas para caracterizar adequadamente o solo da fundação. Verificou-se, então, que havia a presença de argila orgânica, fato que não havia sido informado na sondagem inicial, e constatou-se a presença de falso topo rochoso, com uma camada de silte argiloso, com espessuras de 20 a 50cm, sob este falso topo rochoso (Figura 56) se apoiaram as estacas franki que romperam com a atuação das cargas nas mesmas, o que ocasionou o início do processo de recalque.



Figura 56 - Identificação do Falso Topo Rochoso.



Fonte: PILZ, S. E et all (2010)

Em função das novas sondagens, o critério adotado foi a execução de estaca raiz, com capacidade de 400 a 500kN ao lado dos blocos existentes. Desconsideraram-se as estacas existentes como elemento estrutural e um novo bloco de coroamento foi integrado ao existente, como observado na Figura 57.

Estas estacas raiz penetraram na rocha de 2,5 metros a 3,0 metros.

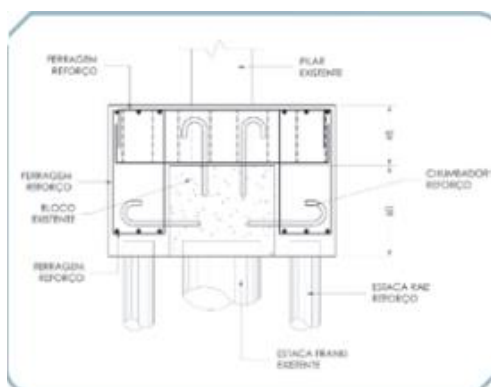
Figura 57 - Planta de Reforço da Fundação



Fonte: PILZ, S. E et all (2010)

Construíram armaduras de suspensão, que foram chumbadas ao bloco existente, tanto lateralmente quando na parte superior, com adesivo epóxi. A ligação do concreto fresco com concreto endurecido foi efetuada com apicoamento e limpeza das faces do bloco executado, sem adesivo epóxi, conforme a Figura 58 e a Figura 59.

Figura 58 - Reforço do Bloco de Coroamento



Fonte: PILZ, S. E et all (2010)

Figura 59 - Reforço do Bloco de Coroamento



Fonte: PILZ, S. E et all (2010)

Após a recuperação das fundações, houve monitoramento durante 06 meses dos recalques, a partir de referência externa à obra, fixa em terreno vizinho, e não se verificou nenhum recalque adicional significativo.

A recuperação do pilar 19 foi executada em duas etapas:

- Antes da execução dos reforços de fundações pelo risco do colapso estrutural do mesmo; e
- Outra posterior ao reforço das fundações.

A primeira etapa de reforço consistiu na instalação de barras de aço soldados (Figura 54), para combater os esforços que ofereciam risco de colapso da estrutura, efetuando posteriormente a concretagem do pilar utilizando microconcreto de alta fluidez com resistência de 60 Mpa, para que pudesse penetrar nas falhas do pilar. A espessura deste reforço foi de 10 cm em todas as faces, como mostrado na Figura 60.

Figura 60 - Primeira Etapa do Reforço do Pilar 19



Fonte: PILZ, S. E et all (2010)

A segunda etapa de reforço também se constituiu de laminas de aço soldados (Figura 61), para combater os esforços de torção, e ferragens longitudinais e transversais adicionais, com capa de concreto 50 MPa na espessura de 10 cm

Figura 61 - Início da Segunda Etapa do Reforço do Pilar 19



Fonte: PILZ, S. E et all (2010)

O orçamento necessário para a recuperação significou 450% do valor inicial das fundações.

## 4.2. ESTUDO DE CASO 2 – ESTACA ESCAVADA

O estudo de caso foi extraído de um artigo apresentado no XVIII COMBRANSEG - Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica de 2016. O artigo em questão apresenta manifestações patológicas em uma torre de caldeira industrial que sofreu recalques diferenciais anormais, além de ser observado desaprumo na ordem de 15 cm em relação ao eixo vertical.

### 4.2.1. Caracterização da obra e apresentação da problemática

A obra que apresentou problemáticas em questão foi uma edificação executada em estrutura metálica, que comportava atividades industriais, estas que necessitavam de uma caldeira industrial. O empreendimento localiza-se na cidade de Primavera do Leste, sudeste de Mato Grosso. Nessa cidade os solos são classificados predominantemente com arenosos, colapsíveis.

As cargas exercidas pela caldeira eram transmitidas ao solo por dois blocos de fundações executados com conjunto de estacas escavadas de 30 cm de diâmetro e comprimento de projeto variando entre 10 m e 12 m. As demais estruturas de fundação são executadas em estacas de diâmetro 30 ou 40 cm, com 10 m de comprimento, sob blocos simples. A Tabela 6 apresenta as cargas exercidas nos blocos informadas pela empresa de montagem.

Tabela 6 - Cargas Informada pela Empresa de Montagem da Caldeira

Bloco	Carga estática vertical KN	Carga Dinâmica (KN)			
		Fx	Fy	Fz Mín.	Fz Máx.
1	80				
2	50				
3	88	± 6,10	± 6,10		
4	120	± 8,50	± 8,50		
5	82	± 5,80	± 5,80		
6	61,5	± 4,35	± 4,35		
7	60	± 4,25	± 4,25		
8	60	± 4,25	± 4,25		
9	112	± 8,00	± 8,00		
10	172	± 12,25	± 12,25		

11	45				
12	90				
13	90				
14	905				
15	905		$\pm 90,50$		
16	250	$\pm 9,50$	$\pm 6,50$	$\pm 19,50$	$\pm 39$
17	60	$\pm 8,50$	$\pm 4,50$	$\pm 17,00$	$\pm 74$
22	12				
23	25				
24	6				
25	100				
26	450	$\pm 48,0$	$\pm 48,0$		

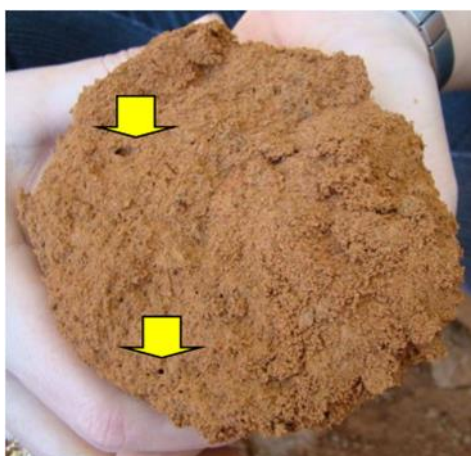
Fonte: BARBOSA, F. CONCIANI, W. (2016)

No final do mês de janeiro de 2010 foi observado pela equipe de engenharia da Indústria que o piso da caldeira havia recalcado e ainda no mesmo ano em meados de junho foi observado que a estrutura que aloja a torre da caldeira estava fora de prumo.

#### 4.2.2. Origem da manifestação patológica

O Solo da região em que a indústria está instalada é classificado como areia siltosa. A amostra de solo coletada a um metro de profundidade indica a presença de granulação de um solo arenoso com poros (Figura 62). Estudos realizados na cidade de Primavera do Leste mostraram que o grau de colapsibilidade do solo desta região é da ordem 30% (Barbosa, 2002).

Figura 62 - Amostra de solo com presença de pedr e grandes poros.



Fonte: BARBOSA, F. CONCIANI, W. (2016)

A investigação do subsolo realizada antes da construção foi a de simples reconhecimento SPT. Estas sondagens executadas em agosto de 2007 indicaram

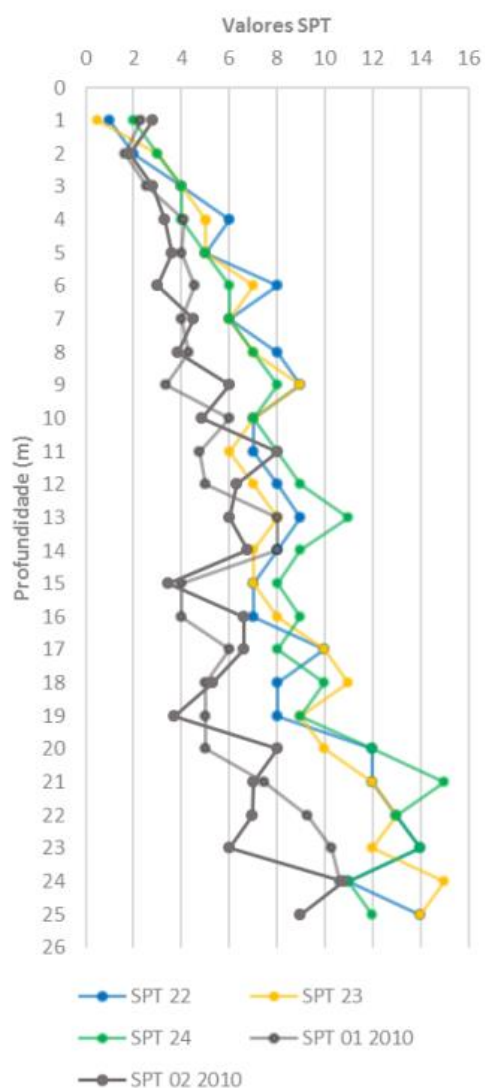
que o solo possui baixo índice de resistência à penetração (NSPT) e foi descrito como argila siltosa.

Nas sondagens realizadas no local do prédio da caldeira, o valor de NSPT cresce até a profundidade de 10 m. Na profundidade 10m a 15 m os valores de NSPT permanecem estáveis e a partir desta profundidade e até 25 m os valores do índice de resistência à penetração são crescentes até o valor de 15.

A determinação da cota do lençol freático indicado no laudo de sondagem foi na profundidade de 16 m.

Em junho de 2010 novas sondagens foram realizadas, em que os novos valores de NSPT (Figura 63) foram adquiridos e que não confirmam a confiabilidades dos valores obtidos na sondagem executada anteriormente.

Figura 63 - Comparação dos valores de NSPT obtidos



Fonte: BARBOSA, F. CONCIANI, W. (2016)

A nova investigação do subsolo foi realizada com avanço a trado até os 16 m de profundidade que conforme especificado nas sondagens anteriores determinava ser a profundidade do lençol freático. A profundidade onde se encontra o nível do lençol freático abordado nas novas sondagens está na cota de 17,50 m, sendo importante ressaltar que ambas as sondagens foram realizadas no período da seca.

As novas sondagens indicam valores inferiores de NSPT, além da alteração da classificação do solo, correspondente a uma areia siltosa com pouca argila. Estas mudanças na resistência à penetração e na classificação, implicam uma variação no valor da carga admissível do solo, com uma redução de 30%. (No método Decourt & Quaresma).



Outra origem identificada, que levou a ocorrência dos recalques, é identificada como um evento de pós-conclusão. Durante a visita de campo foi observado que as canaletas responsáveis pelo escoamento das águas tinham várias trincas ou pontos de vazamentos, assim ocorriam eventuais vazamentos de águas de arraste das cinzas. Estes vazamentos ocorrem nas laterais da canaleta ou nas juntas do piso. A Figura 64 mostra um destes casos de vazamento.

Figura 64 - Vazamento na Canaleta de Escoamento de Água na Área da Caldeira



Fonte: BARBOSA, F. CONCIANI, W. (2016)

As condições climáticas da região também influenciaram no comportamento do solo, a incidência de chuvas implicou em um grande aumento no teor de umidade do solo e na elevação do nível do lençol freático e por ser um solo caracterizado como colapsível, necessita de estudos para melhor serem analisados a sua interferência no aparecimento de manifestações patológicas.

Foram realizadas medidas de umidade do solo na profundidade de 1 m, exceto o terceiro furo que foi utilizado o método Speedy. Alguns valores encontrados são listados na Tabela 7, os valores de umidade do solo são menores nos furos mais afastados da área da caldeira.

Tabela 7 - Valor de Umidade na Área da Caldeira

Furo	Umidade (%)
1	17,6
2	21,6
3	17,6
3 (prof. 4m)	21,2

Fonte: BARBOSA, F. CONCIANI, W. (2016)

Uma inspeção foi realizada sob o piso da área da caldeira. A Figura 65 mostra a água acumulada sob este piso.

Figura 65 - Água Acumulada na Área da Caldeira



Fonte: BARBOSA, F. CONCIANI, W. (2016)

#### 4.2.3. Causas das manifestações patológicas

As causas que levaram a ocorrência de manifestações patológicas, foram recalques. Segundo a equipe de engenharia da indústria, este recalque observado no piso da caldeira apresentava cerca de 40 cm que parecia ter sido uniforme, já que foram observadas trincas no piso sem outras ocorrências.

Os blocos recalçaram mesmo sem efeito de carga, a Figura 66 mostra o recalque de um bloco de fundação que não está vinculado à estrutura. Como pode ser observado o pilar está a aproximadamente 2 cm acima do bloco de fundação, este fato ocorreu pela ausência de ligação da estrutura ao bloco.

Figura 66 - Bloco com Recalque e Estrutura Livre



Fonte: BARBOSA, F. CONCIANI, W. (2016)

O monitoramento de recalques feito na obra em junho de 2010 indicou que as fundações sofreram recalques diferenciais significativos. Os dois blocos que sustentam a caldeira sofreram recalque diferencial, em que as medições constavam na magnitude de aproximadamente 14 cm. Considerando que a distância entre eixos dos dois blocos é de 5,4 m, o valor do recalque distorcional é de:

$$\gamma = \frac{\rho_1 - \rho_2}{L} = \frac{14}{540} = 0,0259 = \frac{2,59}{100}$$

$\gamma$ : Distorção Angular

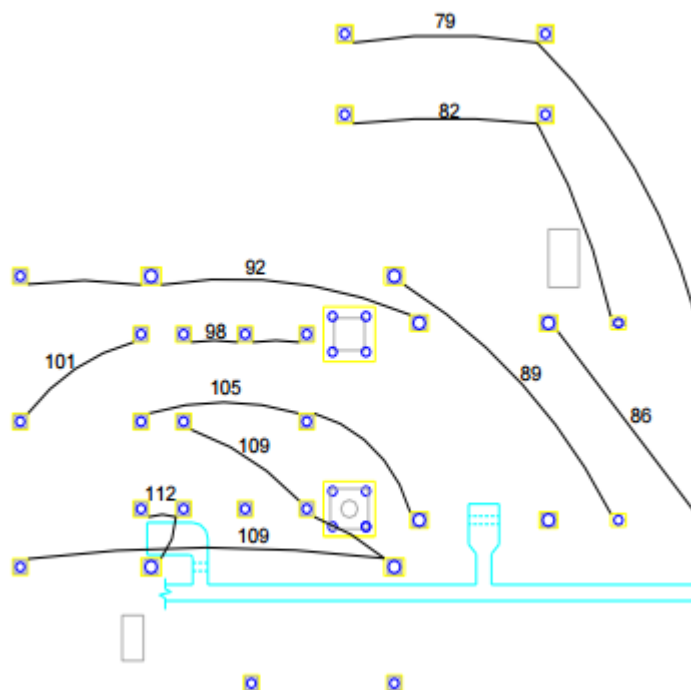
$\rho_1$ : Recalque sofrido de maior valor

$\rho_2$ : Recalque sofrido de menor valor

L: Distância entre os Recalques

A Figura 67 mostra uma planta com as linhas de identificação dos recalques na área da caldeira medidos em junho de 2010. Estes recalques são decorrentes da movimentação diferencial das diversas peças uma vez que não há um referencial seguro para estabelecer valores absolutos. Pode ser observado na figura que há uma concentração de valores maiores no entorno da caldeira. Também é visível a existência de uma direção preferencial dos recalques. Esta direção coincide com área não impermeabilizada e com a maior concentração de estruturas hidráulicas.

Figura 67 - Planta Esquemática de Distribuição do Recalque na Região da Caldeira.



Fonte: BARBOSA, F. CONCIANI, W. (2016).

#### 4.2.4. Manifestações patológicas

Análises foram realizadas para melhor identificar a manifestação patológica causada pelo recalque. Por meio de levantamentos topográficos, foi observado desvios de verticalidade na ordem de 15 cm. Além do desaparecimento da estrutura, foram identificadas fissuras no piso.

#### 4.2.5. Recuperação

As soluções para este problema passam por limitações do funcionamento da fábrica. Isto é, a planta da fábrica não pode parar para que a manutenção seja realizada. Além das limitações de funcionamento da fábrica o próprio solo impõe algumas limitações. A Figura 68 mostra que no prédio da caldeira não há como entrar com equipamentos típicos de fundações. Neste caso, a limitação de espaço para manobras e de altura para equipamentos impõe severas restrições às soluções possíveis.

Figura 68 - Esquema Geral da Área de Trabalho



Fonte: BARBOSA, F. CONCIANI, W. (2016)

Considerando risco de ruína iminente que o prédio da caldeira poderia sofrer, foi recomendado proceder a ação de recuperação em duas fases:

- Conter vazamento da caldeira;
- Reforços de fundação com estaca mega.

A primeira fase foi implementada em caráter de urgência imediata ação de desvio das águas da superfície; impermeabilização da superfície e construção de uma estrutura de drenagem mais eficaz; e foi observado que após concluída esta fase, os movimentos da estrutura se estabilizaram.

A segunda fase foi executada reforço das fundações dos dois blocos principais com estaca mega de 20 cm de diâmetro, as quais se mostraram mais práticas na execução. Este tipo de estaca é um método muito recomendado para reforços de fundação, a mesma é introduzida no terreno com auxílio de macaco hidráulico reagindo contra uma estrutura já existente.

## 5. ANÁLISES E DISCUSSÕES

Nesta etapa do trabalho serão avaliados aspectos como tipo de solo existente em cada caso, as origens e as causas das manifestações patológicas, tipo de reforço empregado, controle de qualidade necessário e orçamento, estes aspectos estão dispostos na

**Tabela 8.**

### 5.1. ANÁLISE QUANTO AOS TIPOS DE SOLO

Caso 1 – argila mole e presença de argila orgânica e matacões

Para o projeto de fundação em solos argilosos com presença de matéria orgânica e matacões deve ser profundamente criterioso e bem analisado, a argila mole não oferece capacidade de suporte esperada para uma fundação de uma edificação de 14 pavimentos e por isto a fundação não deve ser apoiada neste tipo de solo e assim deve-se avançar até uma camada de solo mais rígida para suportar as cargas. A argila mole não irá atuar como solo capaz de resistir por atrito lateral, por este motivo a resistência de fuste é praticamente desconsiderada.

A presença de argila orgânica também conhecida como turfas irá comprometer a fundação, pois a mesma possui características como alta absorção de umidade, podendo assim expandir e gerar movimentações no solo.

A presença de matacões pode ser interpretada como uma camada resistente do solo, assim comprometer o laudo de sondagem, pois se realizada a investigação

simples SPT, quando alcançada a camada resistente sem a incrementação de uma sondagem específica para avaliação da integridade da camada resistente, pode levar a fundação a ser apoiada em matacões, como o ocorrido neste caso.

#### Caso 2 – areia siltosa colapsível

No dimensionamento de fundações em solos colapsíveis é importante considerar o comportamento do solo e a interação solo-estrutura. O solo colapsível mesmo sem a aplicação de cargas é facilmente movimentado, devido a predisposição do rearranjo das partículas de solo, sendo esta uma característica muito relevante para o projeto de fundações e que deve ser levada em consideração.

Por este motivo é indispensável que na etapa de sondagem o solo seja identificada de maneira correta, que não foi o ocorrido, neste estudo de caso.

## 5.2. ANÁLISE QUANTO À ORIGEM DA MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA

#### Caso 1 – Estaca Franki

- Projeto

A falha presente no projeto consiste no erro da previsão de carga da estrutura em que as estacas frank com diâmetro de 52 cm deveria suportar. A estaca executada possui capacidade para resistir cargas em torno de 450 kN, sendo que no estudo de caso analisado a estaca estava submetida a cargas na margem de 1300 kN e 1500 kN.

O principal problema se deve a mudança do projeto inicial com a adição do pavimento destinado a vagas de garagem, sem ser realizada uma análise das fundações já executadas (se as mesmas seriam capazes de suportar tais carregamentos adicionais) atrelado às falhas de sondagem.

- Sondagem

As falhas durante esta etapa se devem a ausência de reconhecimento da presença de solo orgânico.

A sondagem realizada de maneira insuficiente não identificou a presença de matacões, induzindo ao assentamento das fundações, pois se acreditava ser a camada de suporte resistente para o apoio, levando a estrutura a sofrer recalques.

#### Caso 2 – Estaca Escavada

- Eventos pós conclusão

Durante o período de utilização da edificação, havia pontos de vazamentos de águas cinzas devido ao mau funcionamento desempenho as canaletas responsáveis pela drenagem dessas águas.

Os eventuais vazamentos quando combinados à solos colapsíveis facilita e acelera as ações de recalques na edificação que levam a ocorrência de manifestações patológicas.

- Sondagem

A classificação e interpretação de maneira equivocada do solo considerado como argila siltosa levam a adoção de parâmetros incorretos, quando na realidade se trata de um solo arenoso e colapsível.

O fornecimento de valores incorretos do NSPT para valores superiores do que realmente é, induz a elaboração de um projeto não eficiente.

É possível observar que ambas as origens das manifestações patológicas estão aliadas à erros na etapa de investigação do subsolo, a primeira sendo a investigação insuficiente e erro na classificação do solo e já o segundo caso se deve à interpretação inadequada do tipo de solo em conjunto com investigação com falhas pelo fornecimento de valores de NSPT não correspondentes aos reais.

Isto posto, é possível perceber que as informações obtidas na etapa de investigação do subsolo são de suma importância ao mesmo tempo em que está facilmente suscetível a erros.

As sondagens SPT, as quais normalmente são simplificadas. A falta de informações geotécnicas aliadas alguns fatores como: inexperiência do projetista, a utilização de métodos de cálculo consagrados para um determinado solo, mas sem aplicabilidade para outros, a falta de confiabilidade dos relatórios de sondagem, a



dificuldade de leitura técnica dos boletins de sondagens, dentre outros fatores contribuem para o crescente número de patologias estruturais provocadas por problemas nas fundações.

### 5.3. ANÁLISE QUANTO À CAUSA DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Em ambos os casos, os surgimentos de manifestações patológicas se devem à ocorrência de recalques diferenciais, no estudo de caso 1 a proporção do recalque foi de 9 cm o qual induziu ao aparecimento de fissuras. No estudo de caso 2 os recalques diferenciais tiveram proporção de 14 cm que levou à ocorrência de desaprumo da edificação.

### 5.4. ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS IDENTIFICADAS

Caso 1 – O surgimento de fissuras na alvenaria, piso, viga e pilar.

Caso 2 – A observação de desaprumo na ordem de 15 cm.

Analisando as manifestações patológicas de ambos os casos, considera-se o caso 1 mais crítico pelo surgimento de trincas em vigas e pilares que são elementos estruturais submetidas à esforços significativos.

O caso 2 por ser uma estrutura metálica, os elementos estruturais de aço trabalham bem à esforços de tração, compressão e flexão, por este motivo o desaprumo sofrido pode ter influenciado na distribuição dos carregamentos, porém pelo fato do bom desempenho e propriedades do aço a torna menos crítica que o estudo de caso 1.

### 5.5. RECUPERAÇÃO

Caso 1 – Estaca Raiz

Caso 2 – Estaca Mega

Os métodos empregados para recuperação de ambos os casos se configuram como tipos usuais para esta finalidade. No estudo de caso 1, a estaca raiz por proporcionar menor custo comparada com as demais, e por proporcionar a

execução em locais de difícil acesso, com espaço limitado, já que a edificação já se encontrava pronta.

No estudo caso 2, após o ajuste dos vazamentos com a devida impermeabilização e sistema de drenagem eficiente, os movimentos do solo foram sanados, e assim a recuperação se prosseguiu com a utilização das estacas do tipo mega que foram empregadas para corrigir o desaprumo sofrido pela estrutura, pois a partir do uso de macacos hidráulicos, é possível se obter o reaprumo.

## 5.6. CONTROLE TECNOLÓGICO NECESSÁRIO

O controle tecnológico necessário referente ao estudo de caso 1, destina-se ao cumprimento dos requisitos de qualidade presentes na etapa de projeto. As alterações no projeto durante a fase de execução (como ocorrido no estudo de caso 1) não devem ser feitas sem a realização de uma análise aprofundada nos impactos em que essas alterações afetarão nos elementos já existentes.

Referente ao estudo de caso 2 é evidente a necessidade do controle tecnológico para verificação da qualidade e do desempenho da fundação após a sua execução, com o correto monitoramento de eventos pós conclusão que podem influenciar no desempenho final da fundação.

Tem-se em vista que em ambos os casos, se faz necessária a presença do controle de qualidade durante a execução da etapa de investigação do subsolo, como uma fiscalização mais extensiva, rigorosa para a obtenção de laudos de sondagens mais fidedignos ao correspondente na realidade.

## 5.7. ORÇAMENTO

É um dado fornecido apenas pelo estudo de caso 1, que resultou em 450% do valor inicial para confecção da fundação. Este valor representa o quão oneroso é para recuperar uma fundação. O custo é apenas um dos motivos pelo qual se faz refletir a importância do real cumprimento em todas as etapas de confecção de uma fundação, e o devido controle de qualidade atrelado a fiscalização e manutenções.

Tabela 8 - Tabela Resumo Comparativa

	Estudo de caso 1	Estudo de caso 2
Caracterização da fundação	Estaca Franki	Estaca escavada mecânicamente
Estrutura	Concreto	Metálica
Tipo de Edificação	Residencial	Industrial
Origem	Projeto / Sondagem	Eventos pós-conclusão/ Sondagem
Causas	Recalque	Recalque
Manifestação Patológica	Fissuras em elementos estruturais (viga e pilar)	Desaprumo da Estrutura e fissuras
Reforço	Estaca Raiz	Estaca Mega
Controle de qualidade necessário	Projeto e Execução	Monitoramento e Execução
Orçamento para recuperação	420%	–

Fonte: Autoria própria (2018)

## **6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS**

Em virtude do que foi mencionado, é possível perceber a importância de se identificar as origens e as causas das manifestações patológicas nas fundações ainda em sua fase inicial, para assim impedir o seu progresso e evitar o surgimento em casos futuros, ressaltando a relevância de um controle de qualidade eficiente.

O controle de qualidade das fundações se inicia pela escolha da melhor solução técnica, onde existe um nível elevado de detalhamento do projeto e exigências minuciosas para o serviço de execução e finalizando com um controle tecnológico de campo pós execução.

Por este motivo, enquadram-se etapas necessárias e imprescindíveis para a execução de uma fundação apta a transferir todo carregamento da estrutura ao solo da maneira projetada. As etapas correspondem à correta investigação do subsolo, elaboração de projeto detalhado, escolha de materiais capazes de conferir durabilidade, execução, correta utilização da estrutura, acompanhamento e controle para verificação do desempenho do elemento de fundação.

A realização da etapa de investigação do subsolo com cumprimento de todos os requisitos prescritos em norma, é o primeiro passo para determinar o sucesso do desempenho de uma fundação, por este motivo, alguns fatores devem ser observados no processo desta etapa.

A observância de uma alta produção executada em um curto espaço de tempo, assim como também a entrega de laudos de sondagem semelhantes em todos os furos programados em projeto, com mesma espessura de camadas do solo e com atribuição de valores próximos ou idênticos do  $N_{spt}$ , pode indicar a elaboração de um laudo de sondagem fraudulento ou executada com presença de falhas. Portanto nesses casos há a necessidade de se avaliar minuciosamente todos os processos para haver a possibilidade de se identificar a geração de resultados de serviços não realizados.

As falhas presentes na sondagem em ambos os casos levam a refletir qual é a incidência nos erros de investigação geotécnica presentes nas construções civis e

falhas devido a ausência de controles tecnológicos, manutenções e fiscalizações, pois com isto muitas manifestações patológicas podem ser evitadas.

### 6.1. SUGESTÕES DE PERQUISAS FUTURAS

Nesta questão seria de grande interesse o desenvolvimento de pesquisa que abordasse a:

- Avaliação percentual da ausência no processo de sondagem no Brasil;
- Identificar o percentual da incidência de falhas no processo de sondagem;
- Avaliação da ausência da fiscalização e manutenção na execução das fundações do Brasil.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484**: Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio. Rio de Janeiro. 2001. 17p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro. 1996. 33 páginas.
- \_\_\_\_\_. **NBR 8036**: Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios. Rio de Janeiro. 1983. 3 páginas
- \_\_\_\_\_. **NBR14931**: Execução de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro. 2004. 53 páginas
- \_\_\_\_\_. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro. 2014. 238 páginas
- \_\_\_\_\_. **NBR 13208**: Estacas - Ensaio de Carregamento Dinâmico. Rio de Janeiro. 2007. 12 páginas
- \_\_\_\_\_. **NBR 12131**: Estacas - Prova de Carga Estática - Método de Ensaio. Rio de Janeiro. 2006. 8 páginas
- FARIAS, R. PARANHOS, H. **Notas de aulas de engenharia de fundações**. 160 páginas; 2018.
- HELENE, Paulo. **Manual para Reparo, Reforço e Proteção das Estruturas de Concreto**. 2 Ed. São Paulo: PINI, 1992.
- BUDHU, Muni. **Fundações e Estruturas de Contenção**. 1. ed. São Paulo: LTC Editora, 2013.
- MILITITSKY, J. CONSOLI, C. N. SCHNAID, F. **Patologia das Fundações**. 1. Ed. São Paulo-SP: Oficina de Textos, 2008.
- REBELLO, Yopanan Conrado Pereira. **Fundações – Guia Prático de Projeto, Execução e Dimensionamento**. São Paulo: Zigurate, 2008. 240p

ALONSO, U. R. **Previsão e controle das fundações**. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 1991. 142 p.

SANTOS, M. R. G. **Deterioração das estruturas de concreto armado – estudo de caso**. 2012. 122f. Monografia (Curso de Especialização em Construção Civil) Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2012. Disponível em: <<http://pos.demc.ufmg.br/novocecc/trabalhos/pg2/88.pdf>>. Acesso em: 23 10. 2018 às 20:00.

CARNEIRO, G. V. H. S. et al. **Calor de Hidratação no Concreto**. Disponível em: <[https://www.eec.ufg.br/up/140/o/CALOR\\_DE\\_HIDRATA%C3%87%C3%83O\\_NO\\_CONCRETO.pdf](https://www.eec.ufg.br/up/140/o/CALOR_DE_HIDRATA%C3%87%C3%83O_NO_CONCRETO.pdf)>. Acesso em: 25.10.18 às 15h34min.

VELLOSO, D. A. LOPES, F. R. **Fundações, critérios de projeto – investigação do subsolo** Edição vol1. São Paulo-SP. Oficina dos Textos. 2010. Disponível em: <[https://www.passeidireto.com/arquivo/5956031/livro\\_fundacoes\\_veloso\\_lopes\\_vol\\_unico\\_2012](https://www.passeidireto.com/arquivo/5956031/livro_fundacoes_veloso_lopes_vol_unico_2012)>

CARVALHO, Décio Manuel da Carvalho. **Patologias das fundações: Fundações em Depósitos de Vertente na Cidade de Machico**. 2010. 225 f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Civil, Universidade da Madeira, Funchal, 2010.

SOUZA, V.; RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. – São Paulo: Pini, 1998. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/21688223/patologia-recuperacao-e-reforma-de-estruturas>>

PILZ, S. E.; COSTELLA, M. F.; JACOSKY, C. A.; MENEGOTTO, M.L.; PAVAN R.C.; FAKHYE, R.J.M. **Recuperação de problemas estruturais gerados no projeto de fundação em um edifício de 14 pavimentos**. Revista Concreto e Construções, vol. 57 pp. 71-79. 2010.

BARBOSA, F. M. D. R.; CONCIANI, W. **Estudo de Caso: Recalques Diferenciais Provocados por Inundação do Solo**, XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica O Futuro Sustentável do Brasil passa por Minas COBRAMSEG 2016 — 19-22 Outubro, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil © ABMS, 2016

MINÁ, A. J. S.; DIAS, A. A. **Estacas de Madeira para Fundações de Pontes de Madeira** - Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos, v. 10, n. 44, p. 129-155, 2008. Disponível em: <[http://www.set.eesc.usp.br/cadernos/nova\\_versao/pdf/cee44\\_129.pdf](http://www.set.eesc.usp.br/cadernos/nova_versao/pdf/cee44_129.pdf)> Acesso em: 03.10.18 às 08h31min.

<<http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/GF05-Funda%C3%A7%C3%B5es-Profundas-Estacas-Sem-Desloc.pdf>> Acesso em: 01.10.18 às 19h21min

<http://www.ufjf.br/nugeo/files/2017/07/GEF01-Introdu%C3%A7%C3%A3o-a-Geotecnia-de-Funda%C3%A7%C3%B5es.pdf> Acesso em: 01.10.18 às 19h30min

<<http://www.basestrauss.com.br/strauss.html> > Acesso em: 01.10.18 às 21h17min

<<http://www.geofix.com.br/servico-estaca-barrete.php> > Acesso em: 02.10.18 às 14h30min.

<[http://www.fundesp.com.br/port/pt\\_06.htm](http://www.fundesp.com.br/port/pt_06.htm) > Acesso em: 02.10.18 às 15h54min

<https://sites.google.com/site/langeotecniaefundacao/contato/53-micro-estacas-injetadas> Acesso em: 02.10.18 às 18h22min.

<<http://www.soufer.com.br/arquivos/laminados/5.pdf> > Acesso em: 02.10.18 às 23h12min

<<http://www.apl.eng.br/artigos/2016-METODOLOGIA-ESTACA-PRE-MOLDADA.pdf> > Acesso em: 04.10.18 às 09h39min

<<https://monografias.brasilecola.uol.com.br/engenharia/principais-manifestacoes-patologicas-encontradas-em-uma-edificacao.htm> > Acesso em: 23.10.18 às 20h25min.

<<http://lpe.tempsite.ws/blog/index.php/reacao-alkali-agregado-raa-ela-pode-afetar-o-pavimento-ou-piso-de-concreto/> > Acesso em: 23.10.18 às 20h07min.

<[http://www.brasil.geradordeprecos.info/obra\\_nova/Fundacoes/Profundas/Estacas\\_p\\_re-fabricadas/Estaca\\_metalica.html](http://www.brasil.geradordeprecos.info/obra_nova/Fundacoes/Profundas/Estacas_p_re-fabricadas/Estaca_metalica.html) > Acesso em: 29.10.18 às 20h04min

<<https://br.pinterest.com/pin/517351075937248048/> > Acesso em: 29.10.18 às 20h10min



<<http://construcaociviltips.blogspot.com/2012/03/tubuloes-ceu-aberto.html> > Acesso em: 29.10.18 às 20h40min

<<http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/20/artigo271662-3.aspx> > Acesso em: 29.10.18.

<<http://construcaomercado17.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/146/profundidade-tecnica-escolha-da-tecnologia-para-execucao-de-fundacoes-299192-4.aspx> > Acesso em: 30.10.18 às 14h49 min.

<<https://www.qconcurso.com/questoes-de-concursos/questoes/9ce55968-fa> > Acesso em: 05.11.18 às 16h00min

<<http://www.geofund.com.br/novosite-br/index.php/controle-tecnologico-de-fundacoes> > Acesso em: 05.11.18 às 17h34min

<<http://www.apl.eng.br/artigos/2017%20%20ARTIGO%20%20PROVAS%20DE%20CARGA%20ESTATICAS.pdf> > Acesso em: 05.11.18 às 17h54min.

<<https://sites.google.com/site/naresifundacoesgeotecnias/119-estacas-cravadas> > Acesso em: 12.11.18 às 10h13min.

<<http://www.bertoldiconstrucao.com.br/servicos> > Acesso em: 12.11.18 às 12h26min

<<https://www.vwffundacoes.com.br/estaca-tipo-strauss> > Acesso em: 20.11.18 às 11h06min

<<http://construcaomercado17.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/146/artigo299192-1.aspx> > Acesso em: 20.11.18 às 11h16min.

<<https://www.engenhariaconcreta.com/estacas-pre-moldadas-de-concreto-principais-caracteristicas-e-dicas/> > Acesso em: 05.12.18

<<http://www.jlfundacoes.com/engenharia-de-fundacoes/estacas-pre-moldadas-concreto> > Acesso em: 05.12.18 às 15h34min

<<http://www.archus.com/dynamiccad/site/2018/05/01/patologias-em-fundacoes-e-sua-correlacao-com-as-investigacoes-geotecnicas/> > Acesso em: 17.11.18

