

LIGA DE ENSINO DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO UNIVERSITÁRIO DO RIO GRANDE DO NORTE
ENGENHARIA CIVIL

ANNE CAROLINNE CAVALCANTI PEREIRA PINTO

**PATOLOGIAS DEVIDO A RECALQUES DIFERENCIAIS EM FUNDAÇÕES: UM
ESTUDO DE CASO DE UMA EDIFICAÇÃO EM NATAL.**

NATAL/RN

2018

ANNE CAROLINNE CAVALCANTI PEREIRA PINTO

**PATOLOGIAS DEVIDO A RECALQUES DIFERENCIAIS EM FUNDAÇÕES: UM
ESTUDO DE CASO DE UMA EDIFICAÇÃO EM NATAL.**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) como requisito final para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Esp. Leonardo Hoppe Schröder.

NATAL/RN
2018

Catálogo na Publicação – Biblioteca do UNI-RN
Setor de Processos Técnicos

Pinto, Anne Carolinne Cavalcanti Pereira.
Patologias devido a recalques diferenciais em fundações: um estudo de caso de uma edificação em Natal / Anne Carolinne Cavalcanti Pereira Pinto. – Natal, 2018.
63 f.

Orientador: Prof. Esp. Leonardo Hoppe Schröder.
Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário do Rio Grande do Norte.

1. Fundações – Monografia. 2. Patologias em edificações – Monografia. 3. Recalque diferencial – Monografia. I. Schröder, Leonardo Hoppe.. II. Título.

RN/UNI-RN/BC

CDU 624

Larissa Inês da Costa (CRB 15/657)

ANNE CAROLINNE CAVALCANTI PEREIRA PINTO

**PATOLOGIAS DEVIDO A RECALQUES DIFERENCIAIS EM FUNDAÇÕES: UM
ESTUDO DE CASO DE UMA EDIFICAÇÃO EM NATAL.**

Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNIRN) como requisito final para obtenção do título de Engenheira Civil em dezembro de 2018.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Esp. Leonardo Hoppe Schröder
Professor Orientador

Prof. PhD Werner Farkatt Tabosa
Coordenador de TCC

Prof. Msc Flávio César da Costa Pereira
Convidado Externo

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente ao meus pais, pelo apoio e oportunidade de estudar aquilo que eu sempre quis fazer. Agradeço, também, a minha família, de modo geral, que nos momentos mais difíceis estavam ao meu lado, me estimulando a não abaixar a cabeça e a perseguir os meus sonhos.

Aos meus amigos, que me seguiram durante esses cinco anos e que foram fundamentais para a conclusão do curso. Ao meu professor orientador, Leonardo Hoppe, pela ajuda, tanto na parte de disponibilização de documentos como pelos diálogos desde o início. Ao meu professor Werner Farkatt, pela paciência em me ajudar.

Às minhas amigas, Ádila dos Anjos e Natália Nogueira pela paciência, compreensão e incentivo. À Camila Cabello, pelas músicas que me fizeram relaxar durante todo esse período. E por último, ao meu irmão, João Vitor, que me ouviu dissertar o conteúdo dessa monografia, e ao meu primo Rennot Cavalcanti, que foi aquele que mais me incentivou.

“Não importa o que aconteça, continue a nadar.”

(Graham Walters; Procurando Nemo)

RESUMO

É cada vez mais importante a identificação, conhecimento e acompanhamentos dos problemas patológicos de uma fundação para o desempenho, durabilidade e segurança de um edifício. Nos casos que envolvem recalques diferenciais de fundação fica clara a falta de conhecimento dos projetos elaborados e/ou executados de forma inadequada, além da falta de investigações corretas do solo e outras razões. A presente pesquisa envolveu uma revisão bibliográfica sobre as principais causas do aparecimento de recalques diferenciais nos solos e como eles induzem o aparecimento de patologias e danos, como o aparecimento de fissuras, trincas e desaprumos, em edificações. O trabalho apresenta também um estudo de caso, em que foi apresentado os principais danos ocorridos em uma edificação, com a ajuda de um laudo técnico o que tornou possível a correta identificação das causas inerentes da interação solo-estrutura. Através de uma comparação da revisão bibliográfica realizada e do estudo de caso, puderam ser estabelecidas conclusões sobre os eventos ocorridos, suas causas e possibilidades de soluções.

Palavras-chave: fundações; patologias em fundações; recalque diferencial.

ABSTRACT

It is increasingly important to identify, locate, and correct the pathological problems of a foundation for the performance, durability, and safety of a building. In cases involving differential settlement of foundation, the lack of knowledge of inadequately designed and / or executed projects, as well as the lack of correct soil investigations and other reasons, is clear. The present research involved a bibliographical review of the main causes of the emergence of differential settlement of foundation and how they induce the appearance of pathologies and damages, such as the appearance of fissures, cracks and debris, in buildings. The paper also presents a case study, which presented the main damages occurred in a building, with the help of an expert report that made it possible to correctly identify the inherent causes of soil-structure interaction. Through a comparison of the literature review and the case study, it was possible to establish conclusions about the events, their causes and solutions possibilities.

Key-words: differential settling; building foundation; pathology in foundations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de fundações superficiais	18
Figura 2 – Exemplo de fundações profundas	19
Figura 3 – Demonstração do recalque diferencial	21
Figura 4 – Fissuras típicas causadas por recalque de fundações de pilares	23
Figura 5 – Fissuras por recalque de fundação de pilar de canto	24
Figura 6 – Fissuras em parede portante com recalque na extremidade.....	24
Figura 7 – Deformação convexa de parede portante e seus efeitos	24
Figura 8 – Fissuramento de edificação ascendente parte em corte e parte em aterro	25
Figura 9 – Fissuramento por encontro de bulbo de tensões	25
Figura 10 – Demonstração de trincas de 45 graus.....	26
Figura 11 – Classificação das aberturas em milímetros	26
Figura 12 – Medição de fissuras com fissurômetro	28
Figura 13 – Exemplo de desaprumo presente na Orla de Santos	28
Figura 14 – Presença de matações.....	29
Figura 15 – Deficiência na investigação geotécnica.....	30
Figura 16 – Profundidade da investigação insuficiente	30
Figura 17 – Sobreposição de tensões nas fundações.....	31
Figura 18 – Fissuramento de edificação ascendente em aterro	33
Figura 19 – Infiltração	34
Figura 20 – Esquema do desabamento devido a escavações próximas.....	35
Figura 21 – Influência da vegetação na ocorrência de fissuras.....	33
Figura 22 – Distorção angular	36
Figura 23 – Distorções angulares e danos associados	37
Figura 24 – Vigas de rigidez	38
Figura 25 – Radier.....	39
Figura 26 – (A) Planta da laje do radier; (B) Corte da laje cogumelo	40
Figura 27 – Localização da edificação.....	42
Figura 28 – Localização da Subestação	43
Figura 29 – Subestação de energia	43
Figura 30 – Primeira cessão do solo	44
Figura 31 – Preenchimento de área para solução da primeira cessão do solo.....	45

Figura 32 – Croqui	46
Figura 33 – a) Sentido de rotação da estrutura em função do recalque; b) Local de subsidência do solo	47
Figura 34 – Fissura em um dos pilares (situado no lado oposto ao lado da cessão do solo)	48
Figura 35 – Fissura nas proximidades das esquadrias.....	48
Figura 36 – Resultado do ensaio de SPT	50
Figura 37 – Micro estaca de reforço	51
Figura 38 – Modelo de estaca mega	52
Figura 39 – Permeation Grouting.....	53
Figura 40 – Processo de grouting químico	54
Figura 41 – Jet Grouting	56
Figura 42 – Fluxograma de determinação de solução.....	57
Figura 43 – Fluxograma de determinação de solução.....	57
Figura 44 – Fluxograma de determinação de solução.....	58
Figura 45 – Fluxograma de determinação de solução.....	58
Figura 46 - Fluxograma de determinação de solução.....	59

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 IMPORTÂNCIA DO TEMA	14
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo Geral	14
1.2.2 Objetivos Específicos	14
1.3 JUSTIFICATIVA	15
2 METODOLOGIA	16
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1 DEFINIÇÃO DE PATOLOGIAS EM FUNDAÇÕES	17
3.2 DEFINIÇÃO DE FUNDAÇÕES	17
3.3.1 Fundações Superficiais	17
3.3.2 Fundações Profundas.....	18
3.3 INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA	19
3.4 RECALQUES DE FUNDAÇÃO	20
3.5 DANOS CAUSADOS POR RECALQUES DIFERENCIAIS DE FUNDAÇÕES ...	21
3.5.1 Fissuras, Trincas e Rachaduras	22
3.5.2 Desaprumos.....	28
3.6 CAUSAS DOS RECALQUES DIFERENCIAIS DE FUNDAÇÃO.....	29
3.6.1 Deficiência na Investigação do Solo.....	29
3.6.2 Superposição de Tensões	31
3.6.3 Rebaixamento do Lençol Freático	31
3.6.4. Solos Colapsíveis.....	32
3.6.5 Solos Expansíveis	32
3.6.6 Fundação Sobre Aterros.....	32
3.6.7 Alteração da Função da Estrutura	33
3.6.8 Infiltrações	33
3.6.9 Fatos Pós Conclusão da Obra	34
3.7 RECALQUES ADMISSÍVEIS (DISTORÇÃO ANGULAR).....	35
3.8 CONTROLE DE RECALQUES	37
3.8 SOLUÇÕES DE PROJETO PARA MINIMIZAR OS EFEITOS DOS RECALQUES DIFERENCIAIS	38
4. ESTUDO DE CASO	41

4.1 LAUDO TÉCNICO APRESENTADO	41
4.1.1 Introdução	41
4.1.2 Objetivo	41
4.1.3 Localização do imóvel	41
4.1.4 Descrição do objeto	42
4.1.5 Análise da vistoria.....	44
4.1.6 Descrição Das Manifestações Patológicas Presentes	46
4.1.8 Diagnóstico Provável Das Patologias Do Imóvel	49
4.1.9 Recomendações iniciais.....	49
4.2 CONCLUSÕES E SOLUÇÕES	51
4.2.1 Estaca Mega.....	52
4.2.2 Permeation Grouting	53
<i>4.2.2.1 Porque não foi escolhida?</i>	<i>54</i>
4.2.3 Grouting Químico	54
<i>4.2.3.1 Porque não foi escolhida?</i>	<i>55</i>
4.2.4 Jet Grouting	56
<i>4.2.4.1 Porque não foi utilizada?</i>	<i>56</i>
4.3 FLUXOGRAMA	57
4.4 SUGESTÕES PARA ETAPAS FUTURAS	59
5. CONCLUSÃO	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Schnaid, Milititsky e Consoli (2015), uma fundação é o resultado da necessidade de transmissão de cargas ao solo pela construção de uma estrutura. Seu comportamento a longo prazo pode ser afetado por inúmeros fatores, iniciando por aqueles decorrentes do projeto propriamente dito, que envolve o conhecimento do solo, passando pelos procedimentos construtivos e finalizando por efeitos de acontecimentos pós-implantação, incluindo sua possível degradação.

Diante do aumento significativo da economia do país nas últimas décadas, ocorreu um crescimento elevado na área das Engenharias e, principalmente, na construção civil. Devido a essa expansão, de forma muito rápida, não foram realizados investimentos, ou dado a importância necessária em algumas áreas, como nos estudos preliminares do solo, no planejamento de obras, na qualificação da mão de obra, logo, esses fatores somados à competição no mercado imobiliário com a primordialidade de se concluir obras em curtos prazos, tem ocasionado uma expansão de patologias nas edificações que, por consequência, diminuem a vida útil.

No dimensionamento das fundações de uma edificação devemos fazer verificações para que os elementos de fundações atendam simultaneamente dois estados limites, o estado limite último (ELU) e o estado limite de serviço (ELS). O ELU está relacionado à ruptura do sistema (solo-elemento estrutural de fundação), já o ELS está relacionado à utilização da edificação. A maior parte das manifestações patológicas em fundações de edifícios está relacionada ao não atendimento do ELS.

O recalque ou assentamento, é uma das causas patológicas mais relevantes das edificações principalmente porque é o principal causador de fissuras, trincas e rachaduras e, conforme Schnaid, Milititsky e Consoli (2015), pode ser caracterizado pelo fenômeno que ocorre quando uma edificação sofre um rebaixamento devido ao adensamento do solo sob sua fundação.

Quando existe uma movimentação, vertical para baixo, simultânea e de igual valor de todos os elementos de fundação de uma edificação, dizemos que ocorreu recalque nas fundações dessa edificação. Quando essa movimentação ocorre somente em uma parte dos elementos ou em todos eles, mas com valores diferentes, dizemos que ocorreu recalque diferencial nas fundações da edificação.

Sua ocorrência se dá a diversos fatores, podendo ser devido a erros nas etapas de investigação geotécnica, de elaboração do projeto, de execução das

fundações e de fatores pós obra. Vale salientar que, dificilmente ocorrerá um recalque, seja ele total ou diferencial, que não provoque patologias.

1.1 IMPORTÂNCIA DO TEMA

A relevância de um estudo de recalques em fundações, assim como os demais controles realizados para outros elementos da construção é garantir o desempenho funcional do elemento.

O presente trabalho visa mostrar a importância da identificação e conhecimento das causas de patologias em edificações tais como fissuras, trincas e rachaduras provocadas por recalque diferencial de fundação. E porque é uma patologia muito frequente na cidade de Natal.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Esse trabalho tem por objetivo demonstrar as principais causas e as principais patologias relacionadas ao recalque diferencial em fundações, assim demonstrando como podem ser evitadas e como podem ser recuperadas. Focando principalmente em um estudo de caso ocorrido na cidade de Natal, no estado do Rio Grande do Norte baseando-se em análises de laudos técnicos.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para se alcançar o objetivo geral, será necessário atingir os seguintes objetivos específicos:

- Definir recalque e suas classificações;
- Classificar recalque diferencial e suas causas;
- Analisar quais os danos causados pelos problemas devido ao recalque diferencial;
- Investigar casos e analisar quais foram as soluções tomadas para resolver as patologias causadas pelo recalque diferencial.

1.3 JUSTIFICATIVA

Um estudo sobre recalque diferencial é importante para garantir segurança em projetos geotécnicos e para reconhecer as patologias causadas a partir dele como do tipo trincas, rachaduras e fissuras. E somente após um estudo é que poderemos tomar as conclusões necessárias e escolher as principais soluções para recuperações de estruturas.

Além disso, os trabalhos nessa área ainda são muito restritos e confidenciais por serem geralmente ligados a falhas construtivas e descaso por parte de alguns engenheiros, portanto, tem-se o receio em divulgá-los.

2 METODOLOGIA

A pesquisa realizada envolveu uma revisão bibliográfica sobre recalques em fundações focando no recalque diferencial e nos recalques diferenciais específicos. Além disso, foi feita uma breve revisão de conceitos sobre patologias, fundações e a interação solo-estrutura.

Somente após as apresentações desses conceitos, pode ser realizado um entendimento das manifestações patológicas referentes ao recalque diferencial, como aparecimento de fissuras, trincas e rachaduras nas edificações.

A partir disso, o trabalho focou em um estudo de caso decorrente da aparição de patologias devido a recalque diferencial presente em uma edificação na cidade de Natal no estado do Rio Grande do Norte.

Este estudo de caso foi desenvolvido através de visitas técnicas a edificação e aos estudos de laudos técnicos disponíveis pelo CREA (Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Norte) e pelo engenheiro responsável pela recuperação da estrutura, da análise dos ensaios de sondagem de simples reconhecimento feito pela empresa que realizou o laudo, além dos comentários e análises de alguns engenheiros, em que foram analisados os métodos de solução de reforços que deverão ser utilizados para a fundação, para ser fazer uma comparação com as soluções pensadas. Através da revisão bibliográfica realizada, dos danos e da análise do estudo de caso, puderam ser estabelecidas conclusões sobre o evento ocorrido e suas causas.

Com isso, o intuito dessa pesquisa é a importância do conhecimento das causas dos danos para uma correta apuração de responsabilidades com auxílio de laudos periciais, revisões bibliográficas, estudos de monografias sobre o tema e um estudo de caso, para serem estabelecidas conclusões sobre os eventos ocorridos, suas causas e suas soluções dando uma visão prática dos problemas de engenharia ocorridos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 DEFINIÇÃO DE PATOLOGIAS EM FUNDAÇÕES

Patologia na construção civil é o ramo da engenharia em que se estuda os problemas e alterações funcionais em obras tendo por finalidade explicar os motivos de ocorrências de manifestações patológicas e indicar as soluções de correção.

As manifestações patológicas são problemas resultados de falhas de projeto, de construção ou interferências naturais. Esses problemas podem ser obtidos em qualquer fase de uma construção, desde a pré, durante e até pós obra. Pode-se ter diversos fatores como motivações sendo eles: problemas no planejamento e projeto (por exemplo, exemplificações erradas) e problemas na execução.

No caso das fundações, as patologias podem surgir desde a investigação geotécnica preliminar, podendo ser devido a uma deficiente investigação ou completa ausência, até a pós conclusão da obra.

3.2 DEFINIÇÃO DE FUNDAÇÕES

Com finalidade de resistir a cargas acima da edificação, as fundações são elementos responsáveis pela transmissão dessas cargas da estrutura para o solo, servindo como interação solo-estrutura mantendo-a estável.

De acordo com a ABNT (Associação brasileira de normas técnicas) NBR 6122, as fundações são classificadas em superficiais ou profundas, de acordo com a forma de transferência das cargas da estrutura para o solo, dependendo da profundidade da cama de suporte.

3.3.1 Fundações Superficiais

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).

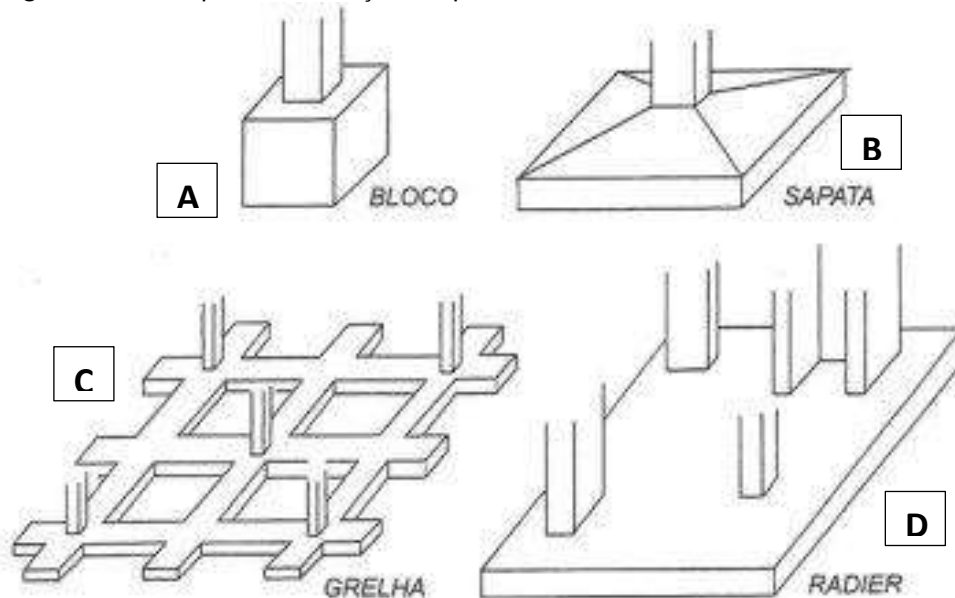
Blocos – Elementos de fundação em concreto, dimensionados de modo que as tensões de tração nele produzidas possam ser resistidas pelo concreto, não sendo

necessário armadura. Podem ter faces verticais, inclinadas ou escalonadas e apresentar, normalmente, em planta, seção quadrada ou retangular (Figura 1a).

Sapata - Elemento de fundação de concreto armado, dimensionado de modo que as armaduras resistam aos esforços de tração. Tem alturas menores que os blocos e sua base em planta é normalmente quadrada, retangular ou trapezoidal (Figura 1b).

Radier – Elemento de fundação que abrange todos os pilares da obra ou carregamentos distribuídos (Figura 1d).

Figura 1 - Exemplos de fundações superficiais



Fonte - Velloso e Lopes (2012)

3.3.2 Fundações Profundas

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).

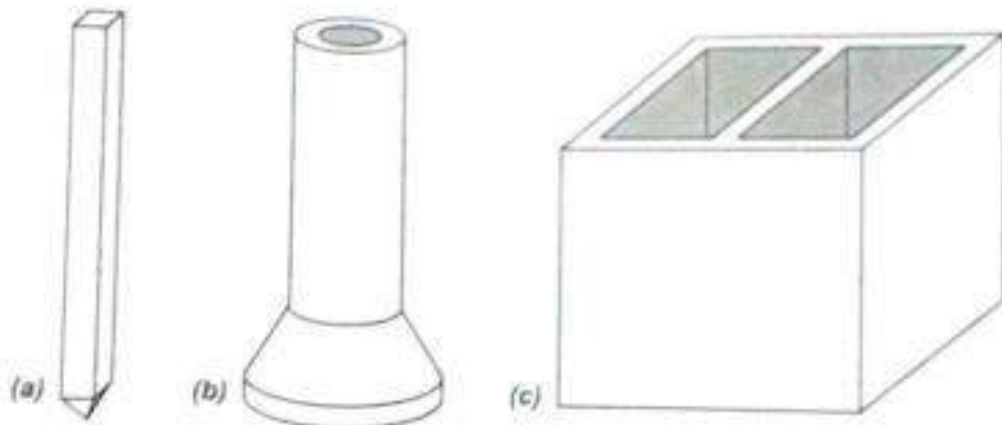
Estacas – Elemento de fundação executada com o auxílio de ferramentas ou equipamentos. Sua execução pode ser por cravação a percussão, prensagem, vibração ou escavação ou de forma mista. Os materiais empregados podem ser:

madeira, aço, concreto pré-moldado ou moldado in situ. Não é necessária a descida de operários (Figura 2a).

Tubulão – Elemento de fundação de forma cilíndrica, em que ao menos uma vez, deve-se ter descida de operário. Pode ser feita a céu aberto ou sob ar comprimido e ter ou não base alargada. Pode ser executado com ou sem revestimento, podendo ser de aço ou de concreto (Figura 2b).

Caixão – Elemento de fundação de forma prismática, concretado na superfície e instalado por escavação interna. Pode-se usar ou não ar comprimido na sua instalação (Figura 2c).

Figura 2 - Exemplos de fundações profundas.



Fonte - Velloso e Lopes (2012).

3.3 INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA

Têm-se procurado entender, de que maneira, fatores pertinentes a superestrutura, tais como a rigidez da edificação, podem interferir na transmissão de cargas ao solo para determinar o desempenho de uma edificação.

O desempenho de uma edificação é definido pela interação solo-estrutura. A interação solo-estrutura tem como finalidade o correto dimensionamento da estrutura e a escolha adequada da fundação de acordo com as características apresentadas

pelo solo, levando-se em conta as deformações, deslocamentos reais da fundação e da estrutura e seus esforços internos.

Esses esforços podem ser obtidos diretamente pela análise física da interação ou, indiretamente, por meio das pressões de contato. As pressões de contato¹ dependem principalmente das características das cargas aplicadas, rigidez relativa fundação-solo, propriedades do solo e intensidade da carga (VELLOSO; LOPES, 2012).

Diante disso, uma análise da interação solo-estrutura possibilita o entendimento do conjunto da estrutura e da fundação além do reconhecimento de esforços em elementos estruturais e dos problemas com essa relação. Os problemas encontrados com essa relação podem ser, basicamente, o recalque e a capacidade de carga, que podem provocar a ruptura da edificação.

3.4 RECALQUES DE FUNDAÇÃO

Recalque é o movimento vertical descendente de um elemento estrutural. Quando esse movimento é ascendente, é denominado levantamento. Recalque é o fenômeno de rebaixamento de uma edificação devido ao adensamento do solo sob sua fundação. São provenientes de deformações do solo por diminuição do volume e ou mudança de forma do maciço do solo compreendido entre a base da sapata e o indeslocável (CINTRA; AOKI; ALBIERO, 2011).

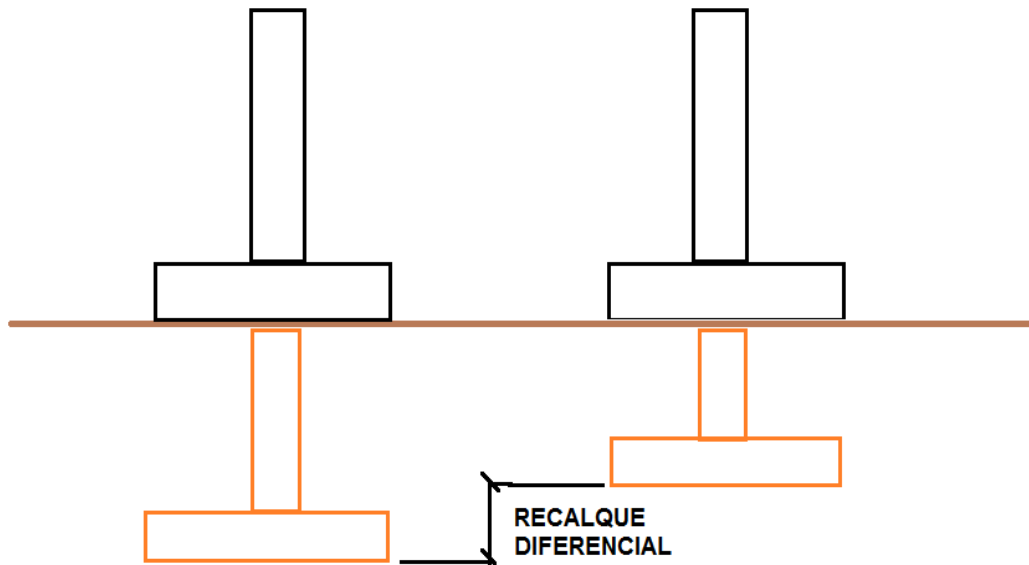
Recalques podem ser chamados de naturais por ocorrerem devido a características naturais do solo. Sendo assim, eles podem não resultar em danos às edificações. Se o recalque for uniforme, em todos os pontos de apoio das fundações, o efeito poderá ser apenas um afundamento do nível térreo, provocando problemas de uso, mas não estruturais.

Quando os recalques são de intensidades diferentes, e se ocorrerem sob uma parte da estrutura da edificação, não correndo na outra, chama-se de recalque diferencial e provocará movimentos do edifício.

A figura 3 demonstra o efeito do recalque diferencial na estrutura de fundação.

¹ São as pressões na interface estrutura-solo. Sua determinação é necessária para o cálculo dos esforços internos na fundação, a partir dos quais é feito o dimensionamento estrutural.

Figura 3 - Demonstração do recalque diferencial



Fonte – Rebello adaptado (2008)

3.5 DANOS CAUSADOS POR RECALQUES DIFERENCIAIS DE FUNDAÇÕES

Conforme foi visto anteriormente, qualquer edificação está sujeita a movimentações verticais (recalques), podendo ser durante ou após a conclusão da obra. Essas movimentações podem provocar diversos tipos de patologias e falhas à edificação, como desnivelamento de pisos, trincas, fissuras e desaprumos da construção. Como foi dito no tópico 3.1 dessa pesquisa, o estudo das origens, dos tipos de manifestações e suas consequências, é denominado patologia.

As manifestações patológicas podem ser de diferentes formas de dados e são classificadas em três grupos (CAPUTO, 2012):

- Danos arquitetônicos - São aqueles visíveis ao observador comum, que comprometem somente a estética da edificação, ou seja, não envolve riscos quanto à estabilidade da construção. Como trincas de paredes, recalques de pisos, rompimento de painéis.
- Danos funcionais – Conhecido como os danos causados à utilização da edificação, podendo, após certo limite, ser necessário o reforço por comprometer a utilização da construção. São o refluxo ou ruptura das tubulações, desgaste excessivo dos trilhos dos elevadores devido ao desaprumo, mau funcionamento de portas e janelas.

- Danos estruturais – Como o próprio nome já diz, são os danos na estrutura, ou seja, pilares, vigas e lajes. O reforço é sempre necessário, pois a sua ausência implica instabilidade da construção, podendo até mesmo levá-la ao colapso

O primeiro indicio mais visível da ocorrência de recalque diferencial aparece nas alvenarias de vedação que são, normalmente, mais frágeis do que a estrutura portante.

3.5.1 Fissuras, Trincas e Rachaduras

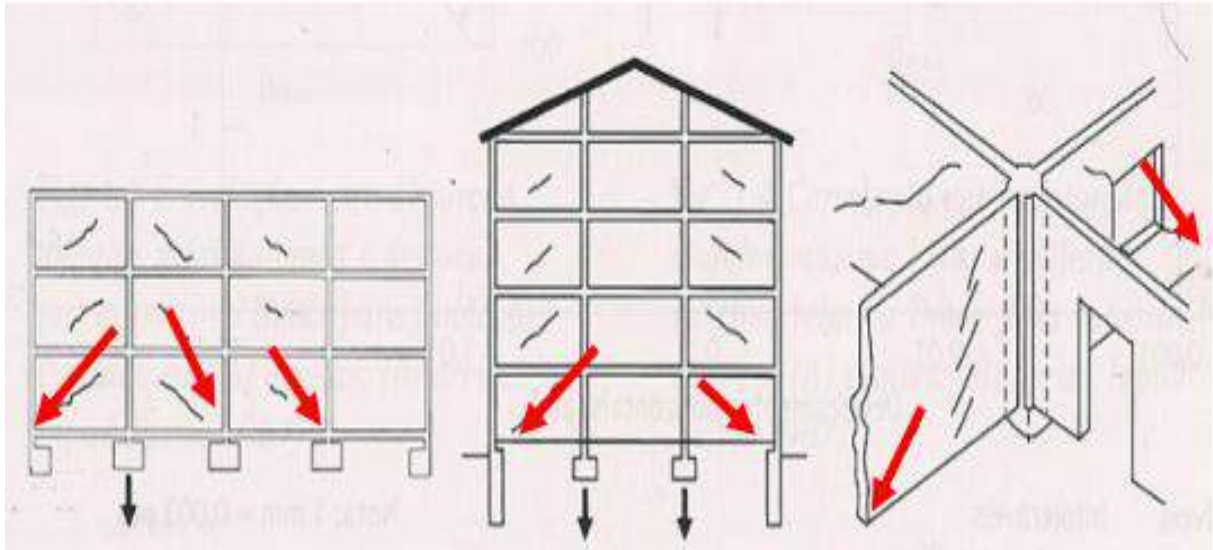
Dentre os inúmeros patológicos que afetam os edifícios, os mais importantes, e que precisam de mais atenção, são as fissuras e as trincas.

Isso se dá pelo fato de que elas indicam um aviso prévio para um eventual estado para a estrutura e do comprometimento do desempenho da obra.

A manifestação patológica devido ao movimento das fundações é o surgimento de fissuras e trincas nos elementos estruturais. Toda vez que a resistência dos componentes da edificação, ou conexão entre elementos, for superada pelas tensões geradas por movimentação, ocorrem fissuras (SCHNAID; MILITITSKY; CONSOLI, 2015).

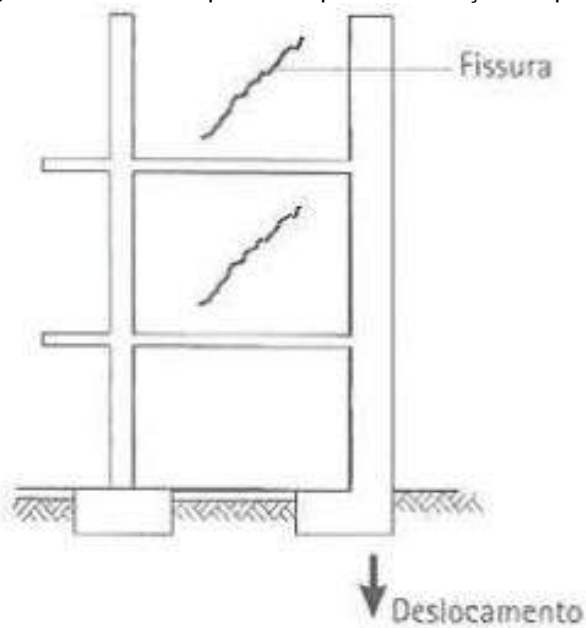
As figuras de 4 a 9 apresentam padrões típicos de deslocamentos e suas aberturas. “É importante mencionar que detalhes construtivos específicos de vinculação dos diferentes elementos que normalmente compõem uma edificação, além de efeitos combinados de movimentos causados por outra origem que não deslocamentos, tornam, nos casos reais, bastante complexas a definição e identificação dos movimentos a partir da fissuração apresentada. É necessária a realização de acompanhamento ou controle dos recalques para identificação precisa do comportamento real das fundações” (SCHNAID; MILITITSKY; CONSOLI, 2015).

Figura 4 - Fissuras típicas causadas por recalque de fundações de pilares internos



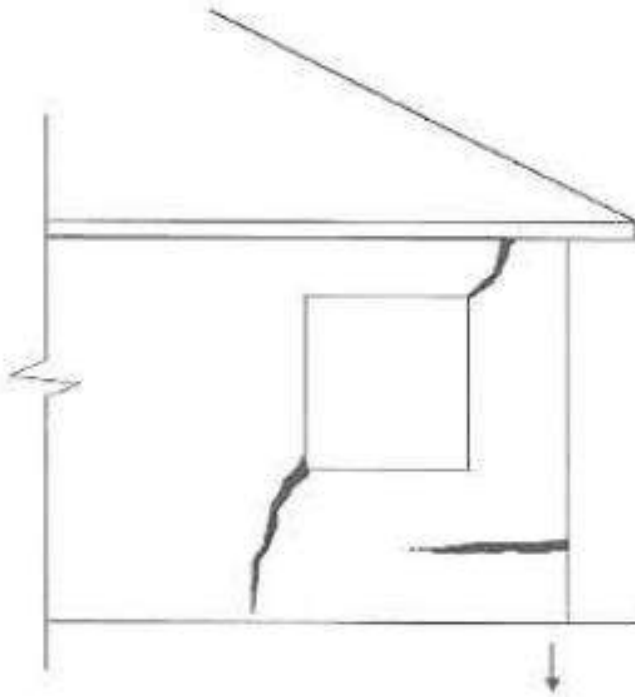
Fonte – Schnaid, Milititsky e Consoli (2015)

Figura 5 - Fissuras por recalque de fundação de pilar de canto



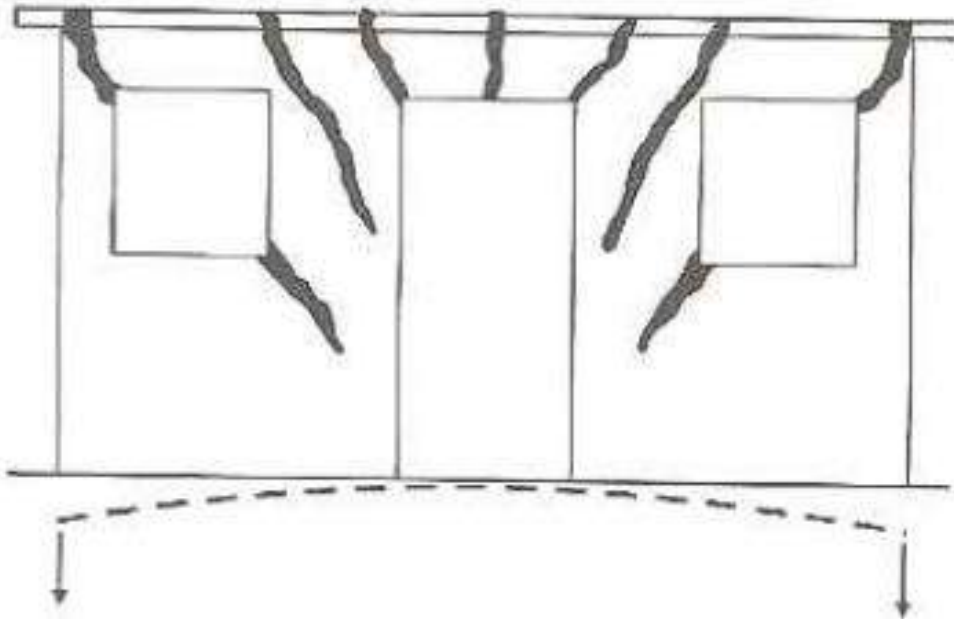
Fonte – Schnaid, Milititsky e Consoli (2015)

Figura 6 - Fissuras em parede portante com recalque na extremidade



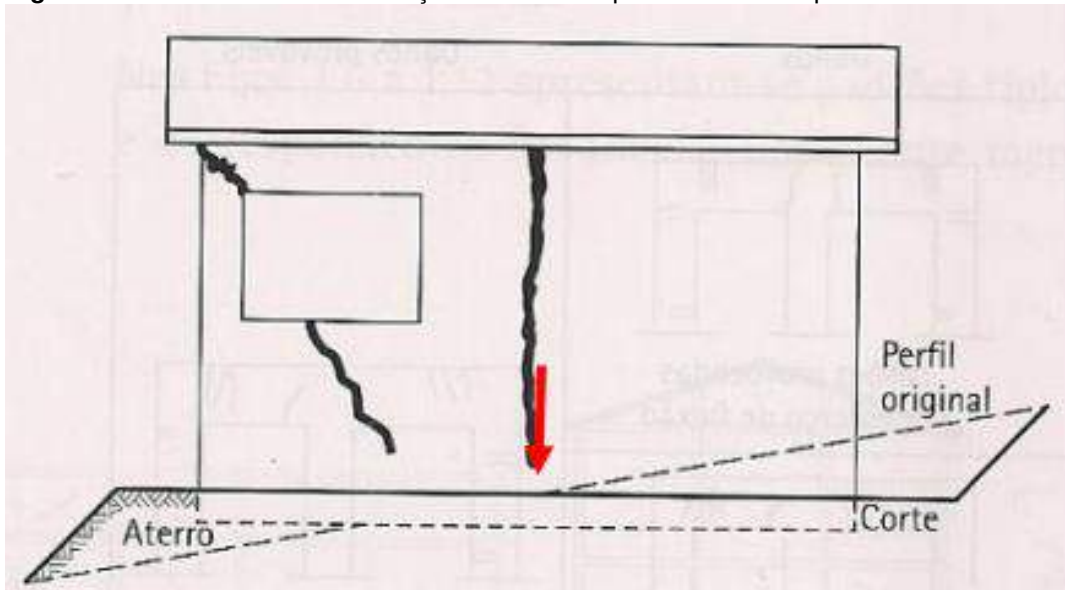
Fonte – Schnaid, Milititsky e Consoli (2015)

Figura 7 - Deformação convexa de parede portante e seus efeitos



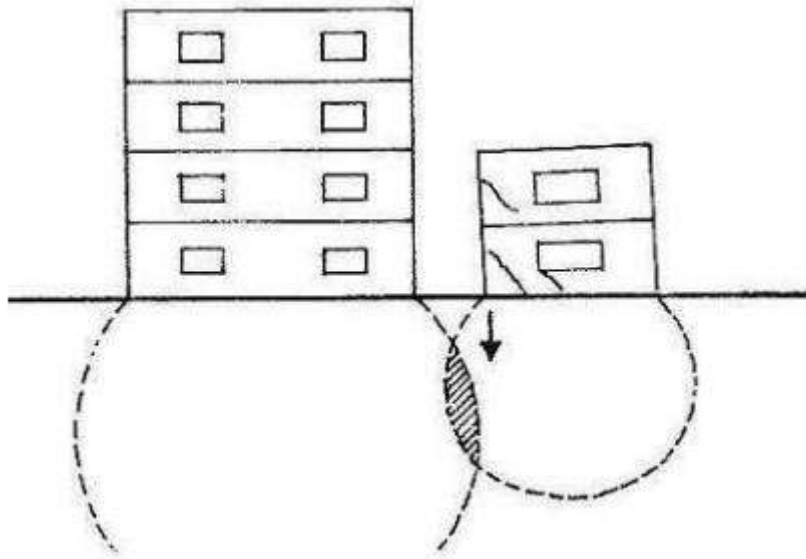
Fonte – Schnaid, Milititsky e Consoli (2015)

Figura 8 - Fissuramento de edificação ascendente parte em corte e parte em aterro



Fonte – Schnaid, Milititsky e Consoli (2015)

Figura 9 – Fissuramento por encontro de bulbos de tensões

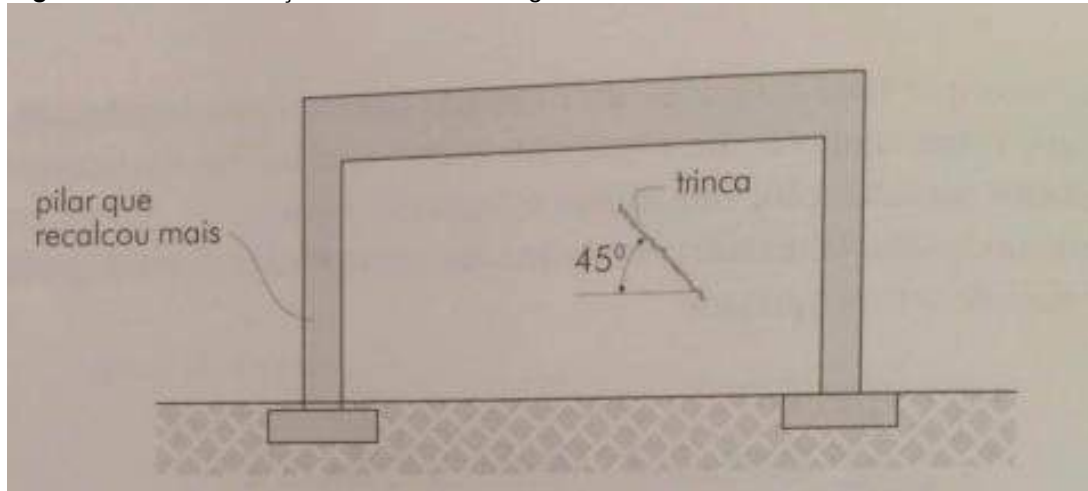


Fonte – Schnaid, Milititsky e Consoli (2015)

As manifestações patológicas apresentam forma e direções diferenciadas, dependendo do tipo e posicionamento do recalque diferencial em relação a estrutura da fundação.

As configurações das fissuras são normalmente inclinadas, com ângulos de 45 graus (figura 10), partindo do lado mais rígido do solo para o lado em que está sofrendo a deformação. As trincas, tentem a indicar para a parte da estrutura de fundação que não sofreu recalque, também apresentam esmagamentos localizados em forma de escamas e variação nas aberturas das fissuras.

Figura 10 - Demonstração de trincas de 45 graus



Fonte - Rebello (2008)

Segundo a norma ABNT NBR 6118, a fissuração em elementos estruturais de concreto armado é inevitável devido à grande variabilidade e à baixa resistência do concreto à tração, mesmo sob as ações de serviço, valores críticos de tensões de tração são atingidos. Schnaid, Milititsky, Consoli (2015), avaliaram que as aberturas podem classificadas como fissura, trinca, rachadura, fenda ou brecha, de acordo com o tamanho das suas aberturas (Figura 11).

Figura 11 - Classificação das aberturas em milímetros

ANOMALIAS	ABERTURAS (mm)
FISSURA	até 0,5
TRINCA	de 0,5 a 1,5
RACHADURA	de 1,5 a 5,0
FENDA	de 5,0 a 10,0
BRECHA	Acima de 10,0

Fonte – Adaptado de Schnaid, Milititsky e Consoli (2015)

Ao se analisar as formas de trincas e fissuras apresentadas, pôde-se perceber que elas também podem ter suas causas, por movimentação térmica, movimentação higroscópica, por atuação de sobrecargas, por deformação excessiva de estruturas ou até por alterações químicas.

3.5.1.1 Classificação de fissuras

As fissuras podem ser classificadas de acordo com o seu comportamento. Elas podem ser passivas (inativas), quando a fissura se encontra estabilizadas, e ativas (em movimento), quando aumentam ao longo do tempo.

Para saber se a fissura é ativa ou passiva, deve-se usar um medidor de deformação ou aplicar gesso (figura 12). Ao se aplicar o gesso, deve-se esperar pelo menos 3 meses. Se o gesso continuar da mesma forma, isto é, se nada aparecer, denominamos como fissura passiva. E se novas fissuras aparecerem, dizemos que ela é ativa por existir movimentação da estrutura e é necessário investigar.

A tabela 1 mostra a relação entre aberturas de fissuras e danos em edifícios.

Tabela 1 - Relação entre abertura de fissuras e danos em edifícios

Abertura da fissura (mm)	Intensidade dos danos			Efeito na estrutura e no uso do edifício
	Residencial	Comercial ou público	Industrial	
< 0,1	Insignificante	Insignificante	Insignificante	Nenhum
0,1 a 0,3	Muito leve	Muito leve	Insignificante	Nenhum
0,3 a 1	Leve	Leve	Muito leve	Apenas estética; deterioração acelerada do aspecto externo.
1 a 2	Leve a moderada	Leve a moderada	Muito leve	
2 a 5	Moderada	Moderada	Leve	Utilização do edifício será afetada e, no limite superior, a estabilidade também pode estar em risco.
5 a 15	Moderada a severa	Moderada a severa	Moderada	
15 a 25	Severa a muito severa	Severa a muito severa	Moderada a severa	
> 25	Muito severa a perigosa	Severa a perigosa	Severa a perigosa	Cresce o risco de a estrutura tornar-se perigosa

Fonte – Cintra, Aoki e Albiero (2011)

Figura 12 - Medição de fissuras com fissurômetro



Fonte - Fissurometros.pt

3.5.2 Desaprumos

O desaprumo de edifícios (Figura 13), é uma patologia com origem essencial no recalque diferencial das fundações. Além de afetar o caráter estético, a inclinação das construções também contribui para o acréscimo de cargas na estrutura, que por sua vez são transmitidas para as fundações, ocasionando um aumento significativo no recalque já existente, podendo atingir valores que ocasionam o colapso do edifício.

Figura 13 - Exemplo de desaprumo presente na Orla de Santos



Fonte – Schnaid, Milititsky e Consoli (2015)

3.6 CAUSAS DOS RECALQUES DIFERENCIAIS DE FUNDAÇÃO

A seguir serão apresentadas algumas situações mais propícias à ocorrência de recalque diferencial de fundações.

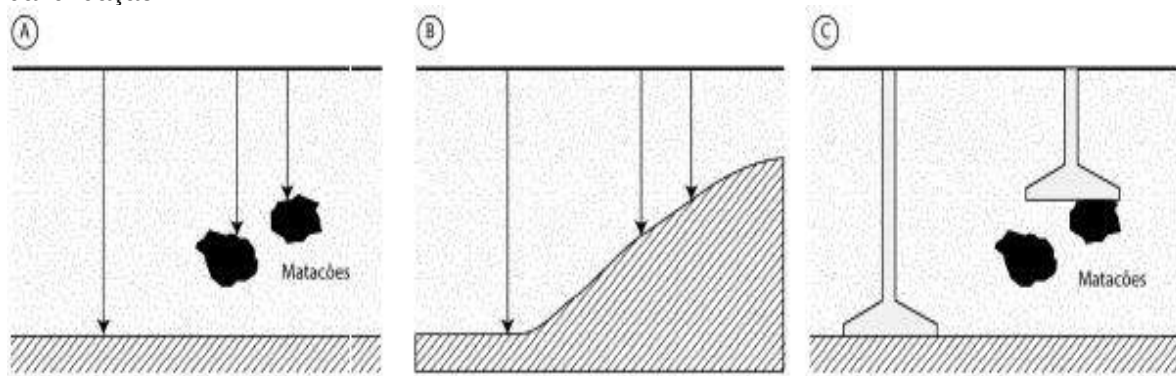
3.6.1 Deficiência na Investigação do Solo

Para qualquer edificação deve-se ser realizada uma investigação geotécnica preliminar, constituída, no mínimo, de sondagens de simples reconhecimento (SPT) para identificar o tipo de solo presente na área, posição do nível da água, presença de aterro, capacidade de carga, entre outros resultados.

Porém, por motivos econômicos, as sondagens, geralmente, são dispensadas em obras de pequeno e médio porte. Segundo Schnaid, Milititsky e Consoli (2015), mais de 80% dos casos de mau desempenho de fundações de obras pequenas e medias, se dá a ausência ou insuficiência de investigações.

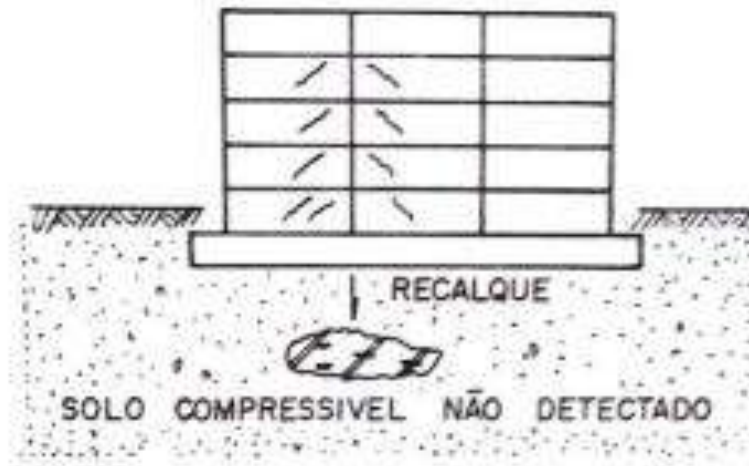
Essa ausência ou insuficiência, pode acarretar problemas futuros as edificações, porque a área em que não se foi investigo, pode apresentar solos compatíveis ou expansíveis, matacões, áreas favoráveis a recalque, como mostrado nas figuras 14 e 15.

Figura 14 - Presença de matacões. A) Perfil real; B) Perfil adotado (equivocado); C) Apoio inadequado da fundação



Fonte – Schnaid, Milititsky e Consoli (2015)).

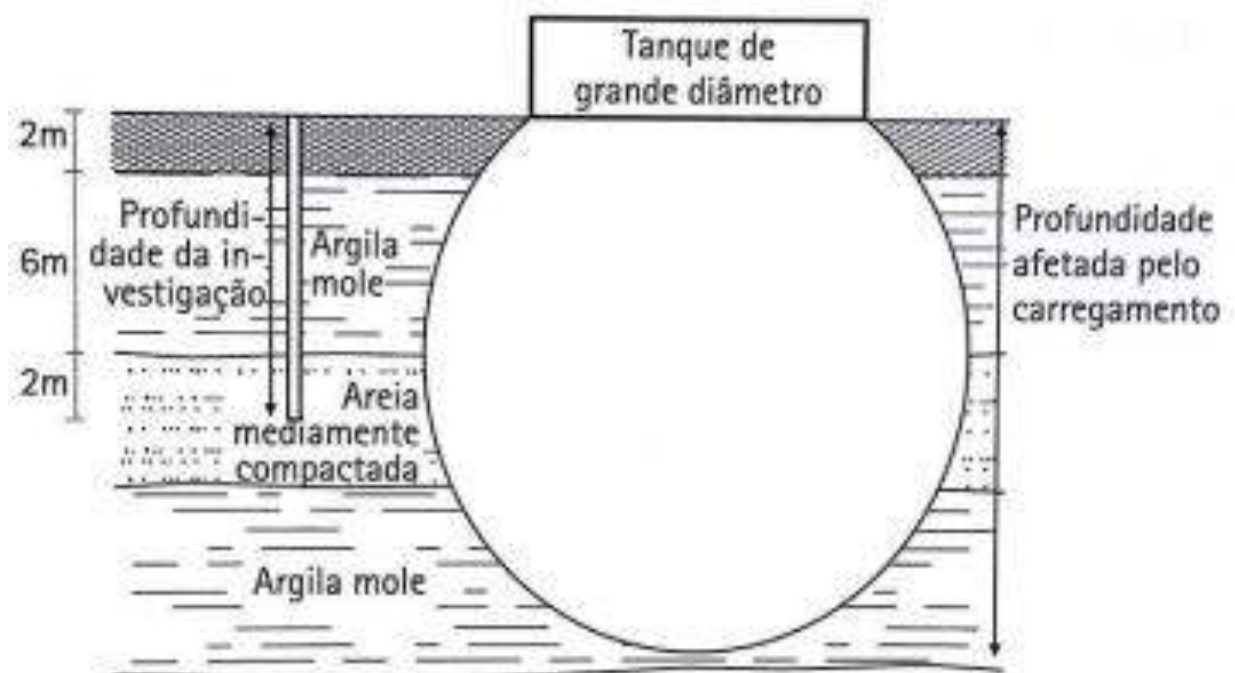
Figura 15 -Deficiência na investigação geotécnica.



Fonte – Velloso e Lopes (2012)

Ou ainda, profundidades de investigações insuficientes, que não levam em conta toda profundidade atingida pelas tensões distribuídas ao solo pelo carregamento da fundação, conforme figura 16.

Figura 16 - Profundidade da investigação insuficiente



Fonte – Schnaid, Milititsky e Consoli (2015)

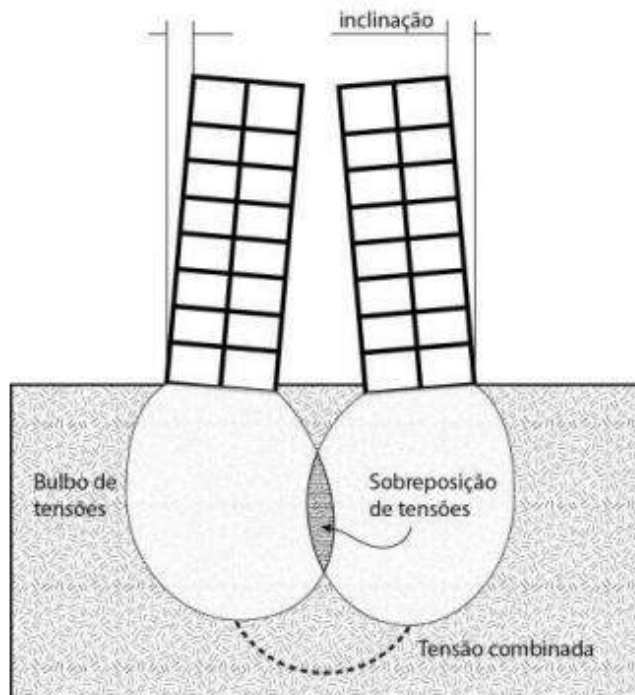
Para Schnaid, Milititsky e Consoli (2015), a utilização das normas, visitas ao local, inspeções às estruturas vizinhas, levar em conta resultados de ensaios de investigação e topográficos, ajudam a prevenir e evitar problemas desse tipo.

3.6.2 Superposição de Tensões

Tensões originadas por fundações são propagadas no solo até uma determinada profundidade, gerando um bulbo de tensão que tem por característica, estabilizar-se na camada de solo.

Quando são realizadas construções próximas a outras edificações, o seu bulbo de tensão irá interferir na região em que está concentrada tensões, o que ocasionará acréscimos de tensões em determinada área, ou seja, superposição de pressões (Figura 17) e, por consequência, provocará recalque adicionais nas edificações mais antigas.

Figura 17 - Sobreposição de tensões nas fundações



Fonte – Schnaid, Milititsky e Consoli (2015)

3.6.3 Rebaixamento do Lençol Freático

Quando há necessidade de rebaixamento do lençol freático (normalmente em garagens em subsolos ou em fundação), ou seja, a inevitabilidade de bombear a água existente no interior do solo, fazendo com que o seu nível seja rebaixado, há uma diminuição na pressão neutra (pressão de baixo para cima devida a água), aumentando a pressão efetiva (provocada pelo peso do solo). Isso ocasiona um

aumento na pressão sob o solo, provocando vazios, que podem provocar recalques sem aumento da carga sob a fundação.

As fundações de sapata sofrem afundamento. Nas de estacas, pode haver um aumento de carga sob a fundação – que pode mesmo chegar a romper – rompendo pelo atrito solo-estaca.

3.6.4. Solos Colapsíveis

Segundo Rebello (2008), denomina-se colapsíveis, solos de grande porosidade e que apresentam a característica de ter suas partículas unidas por uma espécie de cimentação.

Quando esses solos entram em contato com a água, eles têm a sua cimentação destruída. O que resulta em uma perda imediata de sua estrutura, ocasionando recalques.

No caso de fundações por estacas, se estas estiverem inteiramente embutidas em solos colapsíveis, há a perda de sua capacidade de carga, e se apenas o fuste da estaca estiver no solo onde ocorre a redução brusca do volume, ela será sobrecarregada por tensões de atrito lateral negativo (CINTRA; AOKI; ALBIERO, 2010).

3.6.5 Solos Expansíveis

Solos expansivos são aqueles capazes de sofrer expansão quando colocados na presença de água. Os solos expansivos podem ser reconhecidos pela quantidade de argila, pelo índice de plasticidade e pelo efeito eletrolítico (REBELLO, 2008).

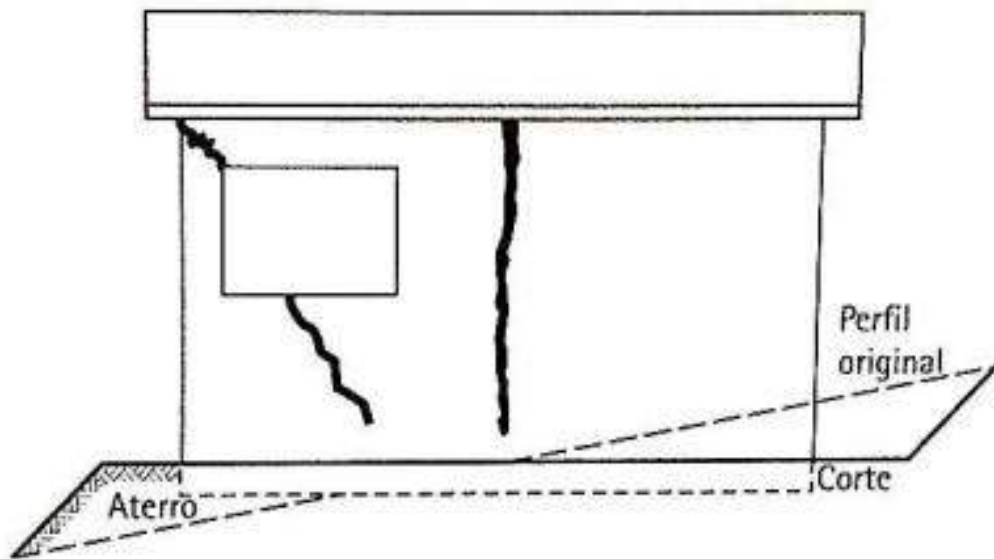
A expansibilidade do solo depende da pressão aplicada a ele pela fundação (quanto maior a pressão, menor a expansão), provocando o levantamento da fundação e a diminuição de resistência devido a sua expansão. O efeito da expansibilidade é mais drástico em pequenas edificações, com pequenas cargas.

Segundo a ABNT NBR 6122, as forças de expansão podem ser equilibradas pelo peso próprio da estrutura.

3.6.6 Fundação Sobre Aterros

A execução de fundações em aterros constitui uma fonte significativa de problemas (figura 18). Os recalques oriundos de fundações assentes sobre aterros podem ocorrer por: deformações do corpo do aterro, deformações do solo natural abaixo do aterro e execução de fundações sobre aterros sanitários (SCHNAID; MILITITSKY; CONSOLI, 2015).

Figura 18- Fissuramento de edificação ascendente em aterro



Fonte – Schnaid, Milititsky e Consoli (2015)

3.6.7 Alteração da Função da Estrutura

A ABNT NBR 6120, determina valores mínimos das sobrecargas verticais atuando nos pisos da edificação de acordo com o tipo de utilização. Diante disso, quando surgem alterações das funções que tinham sido projetadas inicialmente, ou provocando um aumento significativo das cargas da fundação, pode-se gerar o recalque ou sobrelevar a capacidade das fundações existentes. Isso causa o aparecimento de fissurações indesejadas ou outros tipos de acidentes.

Esse tipo de situação é típico de prédios comerciais e industriais, onde é comum a adição de andares intermediários em aplicações ou reformas. (SCHNAID; MILITITSKY; CONSOLI, 2015).

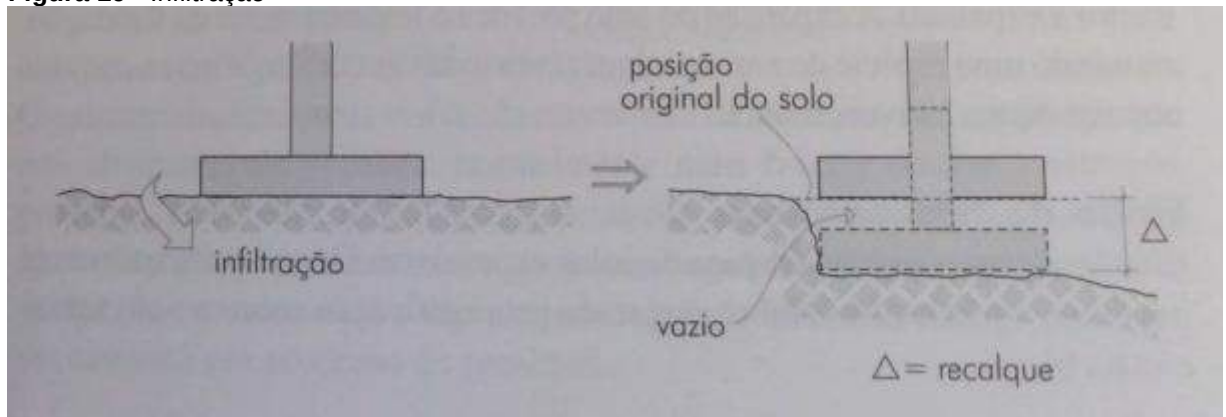
3.6.8 Infiltrações

Pode ser considerado um acidente, pois é totalmente imprevisível. Pode ocorrer por infiltração de águas pluviais mal conduzidas ou por rompimento de tubulações (REBELLO, 2008). Muitas vezes só se descobre a existência desse tipo de infiltração quando o problema já é grave.

Com as infiltrações, o solo sob as fundações diretas pode ser carreado, isto é, provocando vazios que impedem a transmissão adequada de cargas ao solo (Figura 19).

Pouco se sabe, mas as infiltrações são os maiores causadores de recalques diferenciais em edificações de pequeno e médio porte.

Figura 19 - Infiltração



Fonte - Rebello (2008)

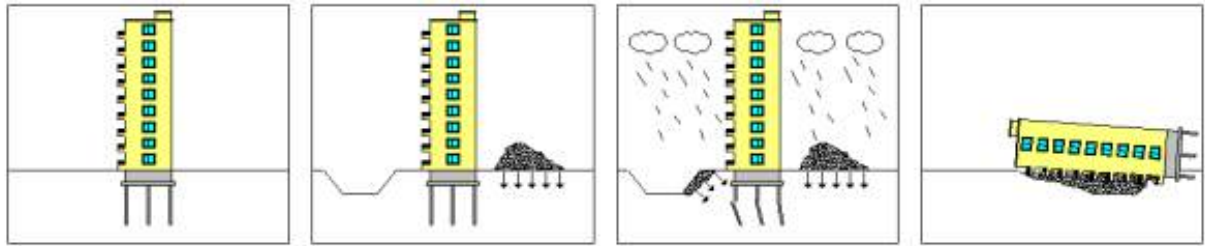
3.6.9 Fatos Pós Conclusão da Obra

Existem vários fatores que podem acarretar o recalque diferencial após a conclusão da obra.

Entre algum deles, o devido a efeitos de escavações próximas é muito comum, por serem dificilmente previstas nas elaborações de projetos e, pelo fato de que não se pode prever qual o tipo de edificação pode ser construído.

O acréscimo de tensões em um lado do edifício aliado ao alívio de tensões causado pela escavação compromete a estrutura da fundação, provocando o desabamento (Figura 20).

Figura 20 - Esquema do desabamento devido a escavações próximas



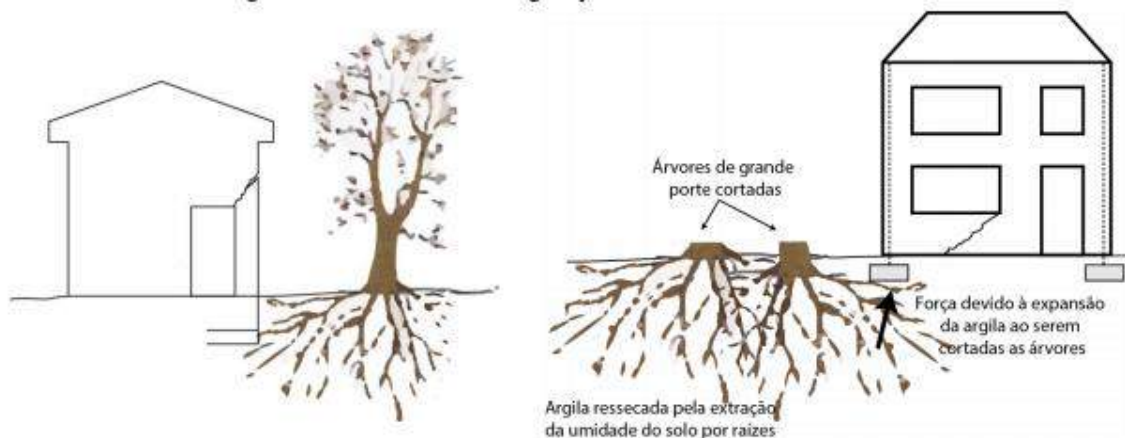
Fonte – Cintra, Aoki e Albiero (2011)

Outro fator bastante comum é o efeito da vegetação por interferência das raízes ou pela alteração da umidade do solo. As raízes consomem água do solo abaixo de uma fundação, modificando seu teor de umidade, fazendo com que a mesma recalque devido ao adensamento do solo.

Normalmente, em solos argilosos, as variações de umidade provocam mudanças volumétricas. E o corte da vegetação também pode acarretar a expansão do solo, caso o mesmo tenha características expansivas, o que resulta em um movimento vertical, ou seja, levantaria a fundação.

Logo, qualquer fundação localizada na área afetada apresentará movimento e provavelmente patologia da edificação por causa de recalques localizados (SCHNAID; MILITITSKY; CONSOLI, 2015). Como mostra na figura 21 fissuras aparecem devido ao esforço produzindo pelas raízes nas fundações.

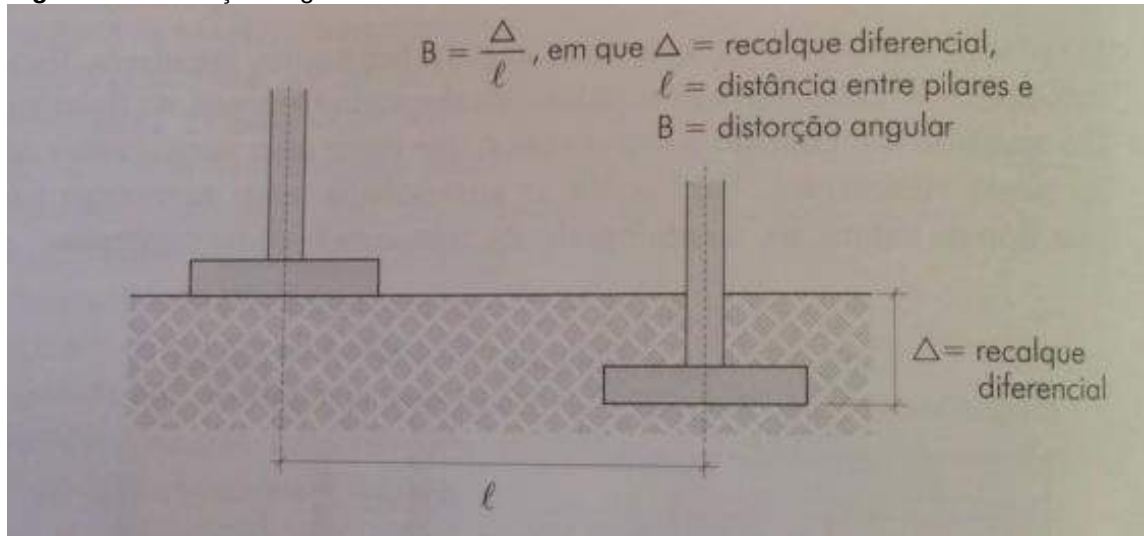
Figura 21 - Influência da vegetação na ocorrência de fissuras



Fonte – Schnaid, Milititsky e Consoli (2015)

3.7 RECALQUES ADMISSÍVEIS (DISTORÇÃO ANGULAR)

Considera-se distorção angular a relação entre o valor do recalque diferencial e a distância entre os pilares analisados, conforme indica a figura 22:

Figura 22 - Distorção angular

Fonte - Rebello (2008)

Segundo Rebello (2008), os limites admissíveis possuem muitas divergências entre estudiosos. Diante disso, os valores podem ser classificados, de acordo com o uso ou material utilizado:

- Edifícios industriais de concreto armado:

$$\delta = \frac{\text{vão } (l)}{1000} \text{ a } \frac{\text{vão } (l)}{500}$$

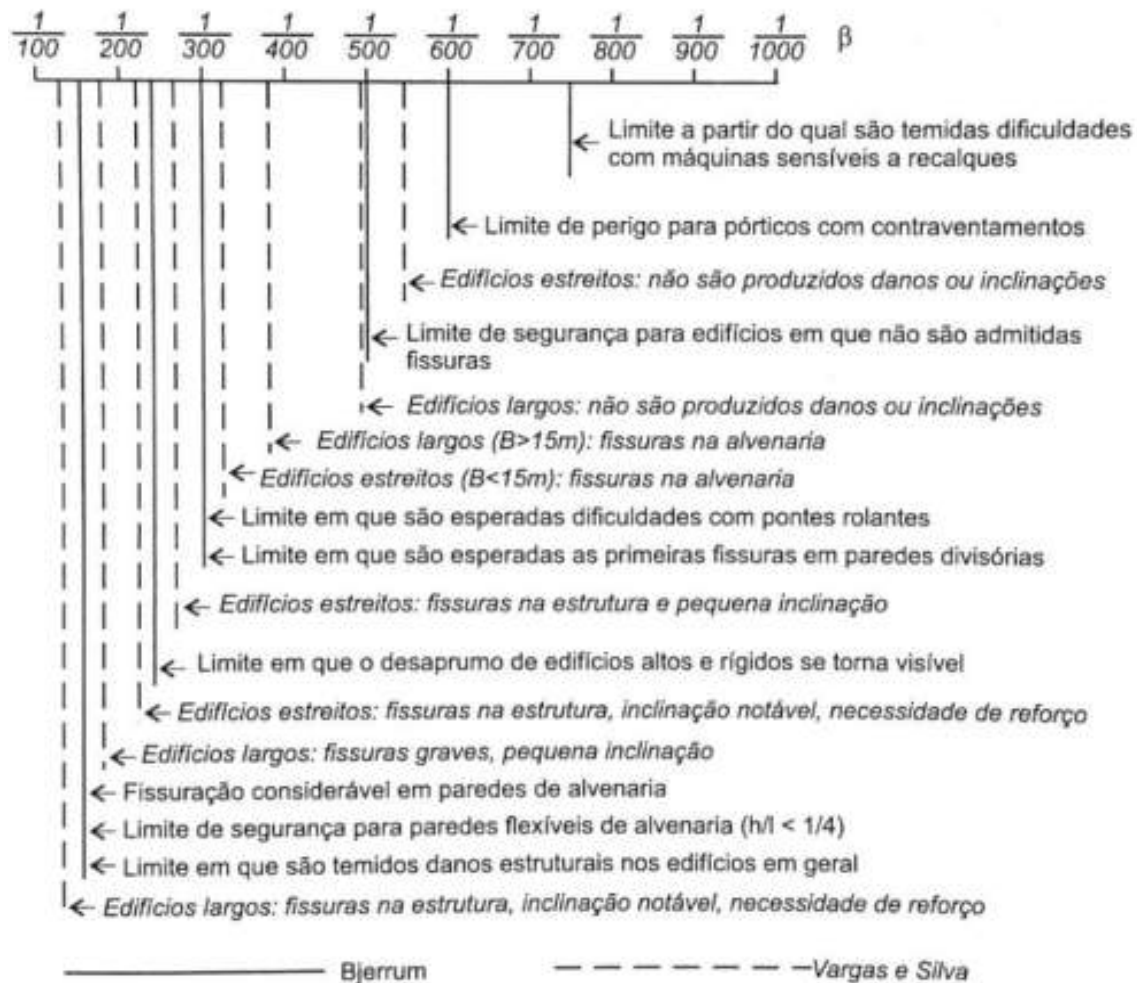
- Edifícios de apartamentos e comerciais de concreto armado:

$$\delta = \frac{\text{vão } (l)}{400} \text{ a } \frac{\text{vão } (l)}{250}$$

- Estruturas metálicas:

$$\delta = \frac{\text{vão } (l)}{500}$$

A Figura 23 a seguir apresenta os valores da distorção angular (β) e seus respectivos danos conforme Velloso e Lopes (2012):

Figura 23 - Distorções angulares e danos associados

Fonte - Velloso e Lopes (2012)

3.8 CONTROLE DE RECALQUES

No momento em que se existem dúvidas pertinente ao comportamento de fundações, ou quando o projeto apresenta aspectos especiais ou quando se é necessário acompanhar o seu desempenho, devido a situações que podem gerar recalques, recomenda-se a realização de controle de recalque da área da edificação.

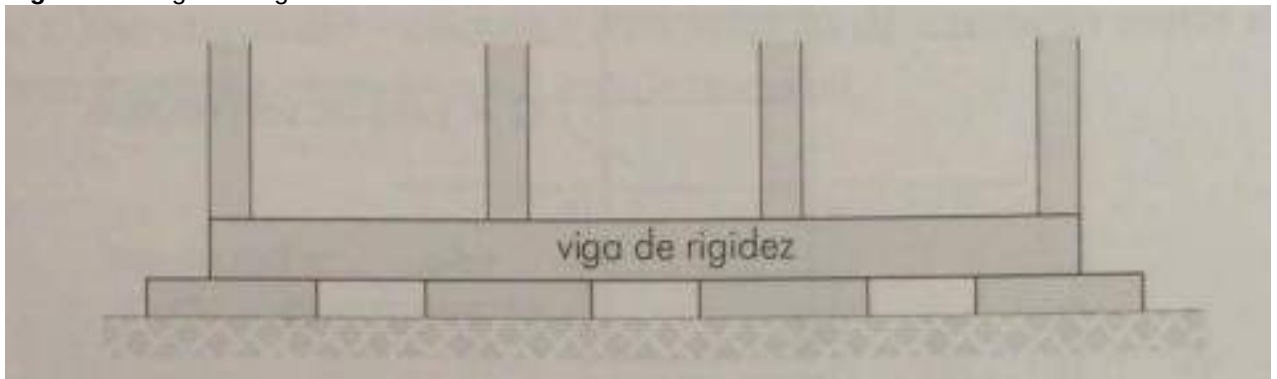
O controle de recalque tem como objetivo identificar a velocidade de recalque da fundação e, conseqüentemente, prever qual será o seu comportamento futuro (SCHNAID; MILITITSKY; CONSOLI, 2015).

3.8 SOLUÇÕES DE PROJETO PARA MINIMIZAR OS EFEITOS DOS RECALQUES DIFERENCIAIS

Algumas providências, ainda na fase de projeto, podem garantir um bom comportamento das fundações frente ao problema de recalque, tornando mínimos os seus efeitos tanto nas vedações como, principalmente, na estrutura. São eles:

- Uso de vigas de travamento junto às fundações – Também conhecidas como vigas de rigidez, que tem como finalidade evitar que um ponto da fundação recalque mais do que o outro, fazendo com que os recalques diferenciais sejam mínimos. A eficiência dessa solução depende das cargas e espaçamentos dos pilares e, principalmente, da altura (rigidez) da viga como mostra a figura 24 abaixo.

Figura 24 - Vigas de rigidez

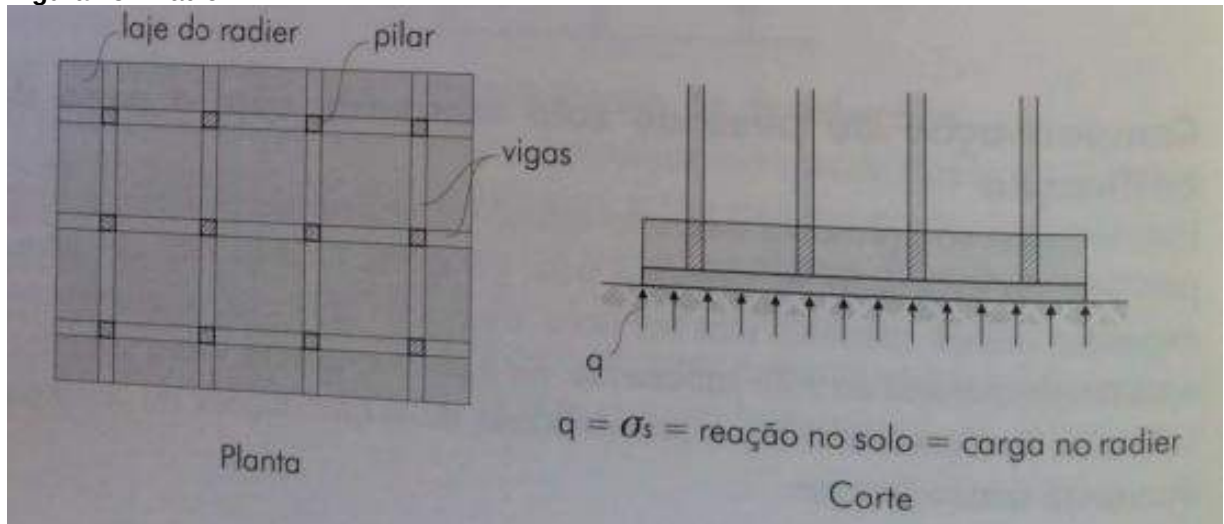


Fonte - Rebello (2008)

- Travamento nos pavimentos do edifício – Não é muito utilizada por restrições arquitetônicas por obstruírem espaços.
- Compensação do peso do solo escavado com o peso da edificação – É utilizado quando o projeto do edifício já tem previsão de execução de subsolos. O solo retirado para a execução desses subsolos tem um peso; esse peso aplica uma tensão natural ao solo subjacente. Se a nova estrutura vier a solicitar o solo com a mesma tensão, a possibilidade de acomodações ou recalques, diminuirá.
- Uso de fundação em radier - Denomina-se radier, a placa única de concreto armado, ou protendido, que se estende por toda a área de fundação e sobre a qual se

apoiam todos os pilares ou paredes estruturais, cujas cargas são transmitidas ao solo, ao longo de toda área desse radier. As somas de todas as cargas sobre o radier dividida pela área do radier, deve resultar em uma tensão no solo inferior à sua tensão admissível. A intenção, com o uso do radier, é fazer com que a grande laje que o constituem tenha rigidez suficiente para evitar que um apoio recalque mais do que outro, evitando assim o recalque diferencial. De ponto de vista de comportamento estrutural, o radier pode ser visto como a estrutura de um piso invertido, em que a carga é a reação do solo (igual a tensão aplicada ao solo) e os apoios são os pilares. Como o radier pode ser assimilado a um piso, a sua estrutura pode ser feita de maneira semelhante à de pisos convencionais (figura 25).

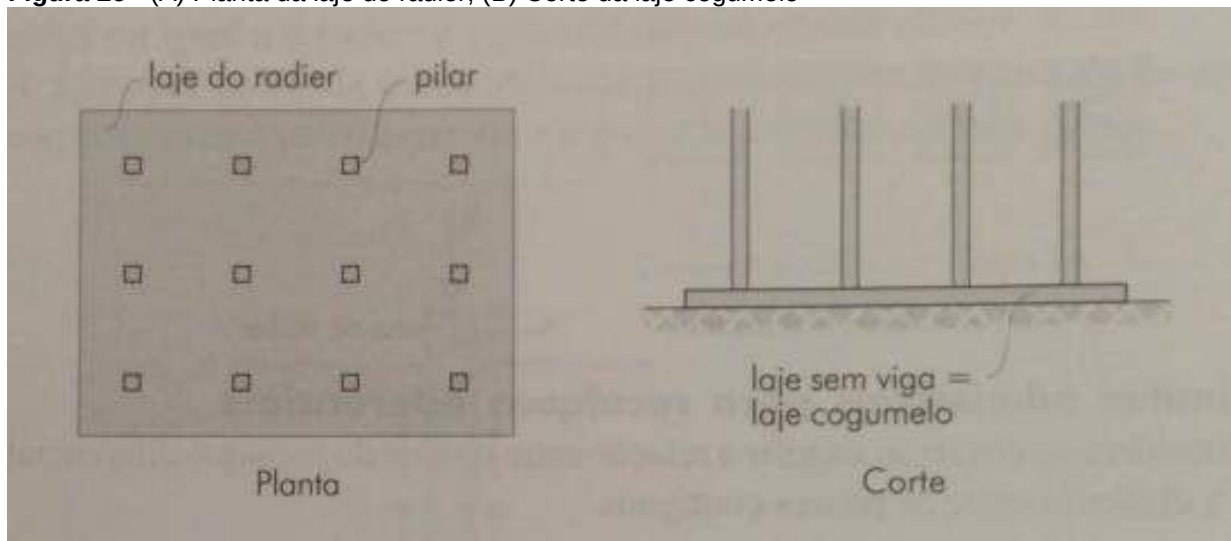
Figura 25 - Radier



Fonte - Rebello (2008)

A escolha do tipo de estrutura a ser aplicado no radier depende do vão entre pilares, do mesmo modo que no caso dos pisos (Figura 26a). A laje sem vigas, conhecido como laje cogumelo (figura 26b), constituiu-se como uma solução de execução muito simples, embora tenha elevado o consumo de material.

Figura 26 - (A) Planta da laje do radier; (B) Corte da laje cogumelo



Fonte - Rebello (2008)

O radier é também uma boa solução para habitações populares. Essas habitações são geralmente projetadas com alvenaria estrutural. As alvenarias são apoiadas diretamente sobre o radier, que, normalmente, não apresentam vigamentos. Para se tornar uma solução mais econômica, o radier pode ser aproveitado como contrapiso.

4. ESTUDO DE CASO

Como estudo de caso, será mostrado o uso dos conhecimentos de engenharia para explicação de um problema que ocorreu na estrutura de uma subestação abrigada de energia elétrica de uma edificação, a partir de um laudo técnico para, assim, poder constatar a presença das patologias, suas origens e determinar as melhores soluções.

É importante ressaltar que os nomes e endereços serão fictícios, e alguns omitidos, para não comprometer as pessoas e empresas envolvidas.

4.1 LAUDO TÉCNICO APRESENTADO

4.1.1 Introdução

Em 2017, houve um recalque do solo sob uma subestação de energia elétrica em uma edificação localizada na cidade de Natal, Rio Grande do Norte e afim de avaliar os problemas encontrados na subestação, esta edificação solicitou um laudo técnico de inspeção para determinar de fato o que ocorreu na edificação.

4.1.2 Objetivo

Para garantir a segurança da edificação, o laudo teve objetivo de analisar as influências das patologias encontradas, em virtude do que ocorreu, para certificar as possíveis soluções de reparo.

A segurança da edificação é importante visto que o local em que se está abrigada a subestação é uma área próxima aonde crianças e professores transitam, além de ser uma construção onde se abriga energia elétrica e qualquer coisa que ocorrer poderá causar danos mais graves.

4.1.3 Localização do imóvel

O imóvel está localizado na Zona Oeste da cidade de Natal, no estado do Rio Grande do Norte. A figura 30 mostra a localização do local a partir do auxílio do Google Maps.

Figura 27 - Localização da edificação



Fonte: Adaptado do Google Earth (2018)

4.1.4 Descrição do objeto

O objeto que foi avaliado pela perícia era uma subestação abrigada de energia elétrica que tinha por finalidade suprir a demanda energética da edificação em que se encontra.

A edificação foi construída em concreto armado com fechamentos em alvenarias convencionais (Figura 29), constituída de 6 pilares de 17cmx17cm e com dimensões de 8,22mx4,13m (área de aproximadamente 34 m²).

A figura 28 mostra, com mais precisão, a localidade da subestação com a contribuição do Google Maps.

Figura 28 - Localização da Subestação



Fonte – Adaptado de SCHRÖDER, Leonardo (2018)

Figura 29 - Subestação de energia



Fonte – Adaptado de SCHRÖDER, Leonardo (2018)

4.1.5 Análise da vistoria

Diante do exposto, a inspeção de vistoria consistiu no reconhecimento e diagnóstico das anomalias construtivas e falhas de manutenção que interferiam e prejudicavam a utilização e o estado físico da subestação.

Como não se pôde contar com documentos administrativos e técnicos da edificação, somente com fotos antigas, a análise da vistoria será feita a partir do laudo técnico que foi feito.

Perante as perguntas feitas a alguns funcionários do local, foi descoberto que a edificação foi construída em 2014 e que, pelas faltas dos projetos, foi levantada em uma região em que se encontravam dois sumidouros e dois tanques sépticos, porém não se sabe a localização exata destes.

Em dezembro de 2016, houve a primeira cessão do solo (Figura 30) na região da subestação e, para resolver o problema, foi-se preenchido a abertura com uma quantidade de areia de 36m³ divididos em três caçambas do tipo carreta com capacidade de volume de 12m³ (Figura 31).

Entretanto, em abril de 2017, houve uma segunda cessão do solo, onde esta foi solucionada da mesma forma da primeira cessão, porém, com volume de areia menor, com alguns carros de mão.

Figura 30 - Primeira cessão do solo



Fonte – SCHRÖDER, Leonardo (2018)

Foi percebido a presença do simidouro embaixo da subestação, pelo espaço vazio que abriu depois da cessão do solo, como mostra a figura 30. A figura 31, mostra como ficou o resultado após a inserção do agregado.

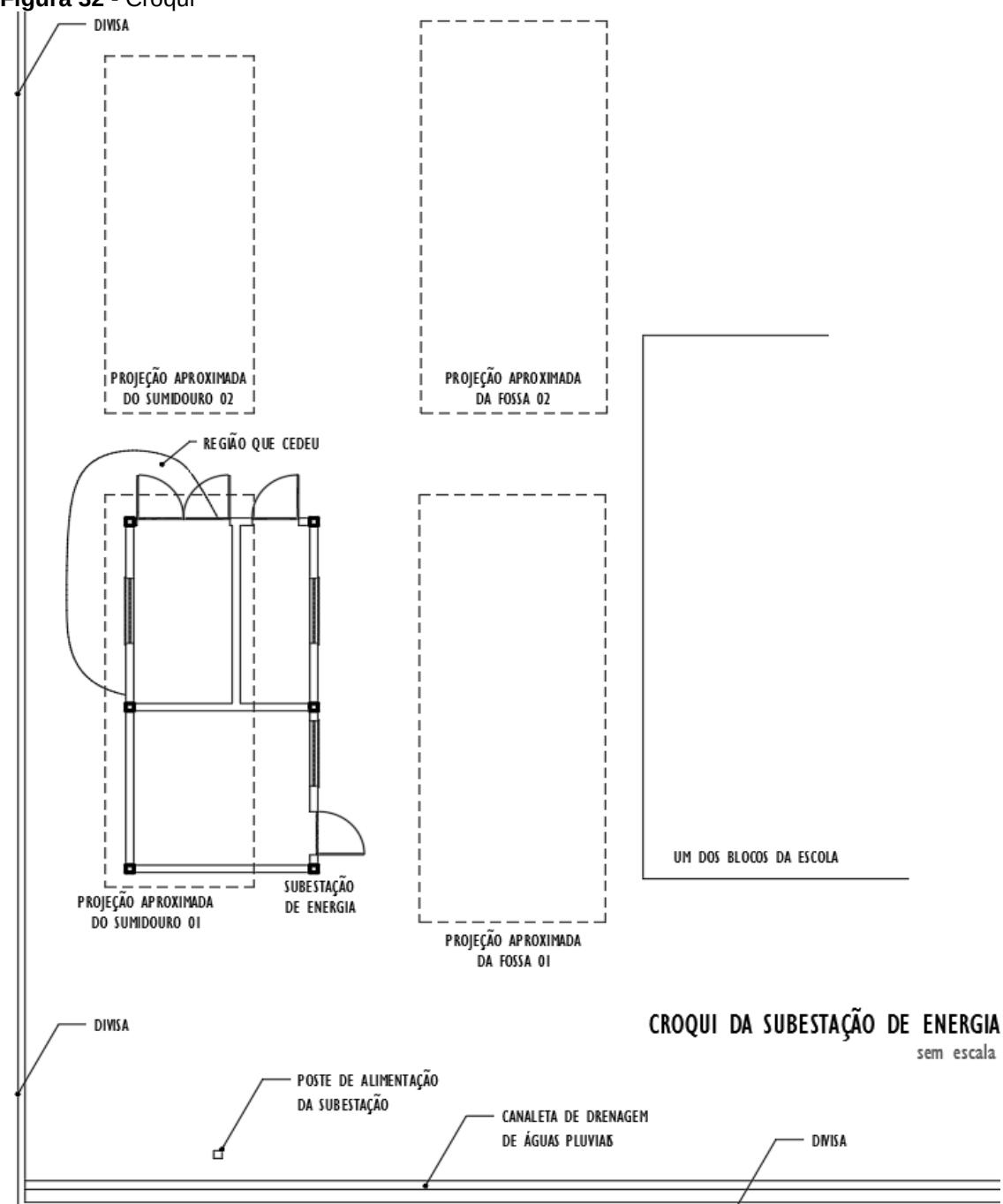
Figura 31 - Preenchimento de área para solução da primeira cessão do solo



Fonte – SCHRÖDER, Leonardo (2018)

Para uma melhor visualização da subestação com a presença dos cinco elementos de estudo, foi elaborado um croqui, que pode ser definido como um projeto arquitetônico que tem como função mostrar, de forma mais acessível, a apresentação desses elementos (duas fossas, dois sumidouros e a própria subestação). O croqui pode ser visualizado na figura 32. A determinação da correta posição dos elementos se deu pelas caixas de inspeção e pelas tampas das aberturas de visita.

Foi relatado, a partir de observações no processo de esgotamento das fossas, que as lajes da tampa das fossas estão com armaduras aparentes e deterioradas por dentro.

Figura 32 - Croqui

Fonte – SCHRÖDER, Leonardo (2018)

4.1.6 Descrição Das Manifestações Patológicas Presentes

Após a análise do laudo, das fotografias e dos questionamentos, os sistemas construtivos, subdivididos em: sistema estrutura, alvenaria e revestimento e esquadrias, foram percebidas as seguintes manifestações patológicas:

4.1.6.1 Sistema Estrutural

Como sistema estrutural, a subestação foi construída em concreto armado com fundação do tipo radier, pilares, vigas e laje de cobertura.

Diante disso, foram-se analisados como problemas do sistema estrutural:

- Uma cessão do solo em uma das laterais da edificação, o que resultou uma abertura;
- Recalque da fundação;
- Rotação da estrutura como um todo em direção da cessão do solo;
- Fissuras horizontais no meio do vão dos pilares opostos à face recalçada.

As figuras abaixo (figura 33 e 34), mostra as manifestações patológicas presentes no sistema estrutural.

Figura 33 - a) Sentido de rotação da estrutura em função do recalque; b) Local de subsidência do solo



Fonte - SCHRÖDER, Leonardo (2018)

Figura 34 - Fissura em um dos pilares (situado no lado oposto ao lado da cessão do solo).



Fonte – SCHRÖDER, Leonardo (2018)

4.1.7.2 Alvenaria e Revestimentos

A alvenaria de vedação e os painéis de fechamento, são revestidas em reboco aparente, sem acabamento de pintura. Tendo como anomalias:

- Fissuras nas proximidades das esquadrias, nas portas metálicas, possivelmente em virtude do recalque da estrutura (Figura 35).

Figura 35 - Fissuras nas proximidades das esquadrias



Fonte - SCHRÖDER, Leonardo (2018)

4.1.7.3 *Esquadrias*

As esquadrias da edificação são compostas por portas e janelas metálicas. E o problema encontrado foi dificuldade em abrir as portas devido a deformação que estrutura sofreu.

4.1.8 **Diagnóstico Provável Das Patologias Do Imóvel**

Diante das análises técnicas, das fotografias, a razão causadora das patologias encontradas foi o Recalque Diferencial, ou seja, um deslocamento vertical do solo para baixo, resultado devido ao rompimento estrutural da parte da tampa da laje do sumidouro existente que ficava abaixo da subestação.

Como a fundação do elemento era do tipo radier, uma fundação superficial que transmite a carga da edificação ao solo pela base, ela necessita de um solo de boa compacidade, ou seja, um solo com boa compactação e com menores índices de vazios.

Devido a primeira cessão do solo em parte da base do radier, houve uma redistribuição dos esforços da estrutura e as cargas foram direcionadas à região que ainda existia solo, o que garantiu a estabilidade global da edificação. Após a inserção do solo para preencher espaço do buraco do sumidouro, houve a segunda cessão do solo, devido à areia que foi inserida não possuir boa compactação, possuindo grandes índices de vazios, diante disso, a região não estava apta para receber um acréscimo de carga, o que proporcionou o deslocamento da edificação.

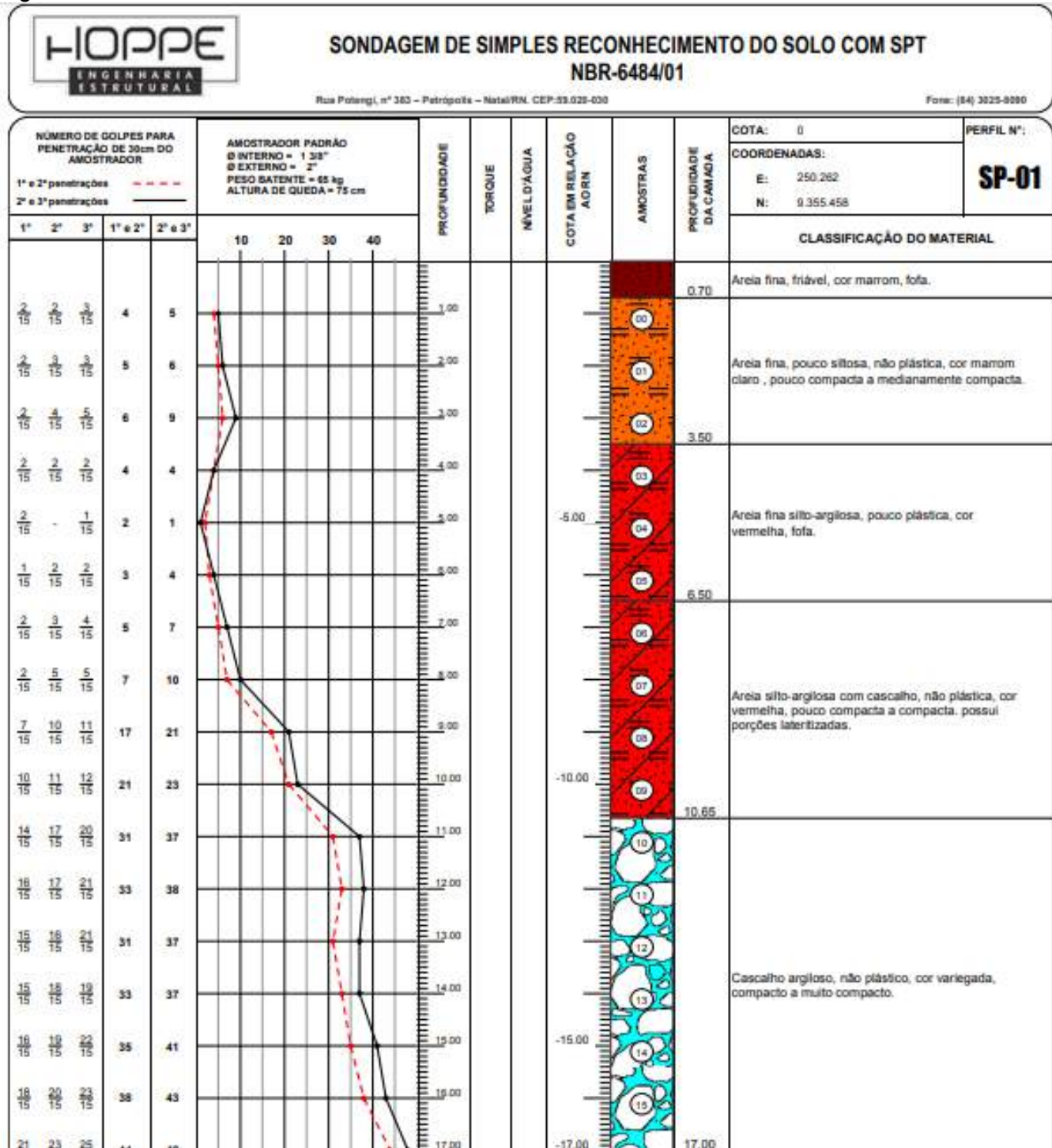
Esse problema ocorreu devido a inexistência da sondagem do solo e da ausência de projetos à época da construção da subestação.

4.1.9 **Recomendações iniciais**

Visando a integridade física da subestação bem como sua segurança e a segurança das pessoas que por ali transitam, é necessário a desativação imediata dela, em função da possibilidade de rompimento da laje da tampa do sumidouro.

Na sequência, foi feito uma investigação geotécnica preliminar (com dois furos SPT). Com os resultados da investigação geotécnica preliminar, pode-se determinar a necessidade de uma investigação geotécnica complementar (Figura 36).

Figura 36 - Resultado do ensaio SPT



Fonte – Adaptado de SCHRÖDER, Leonardo (2018)

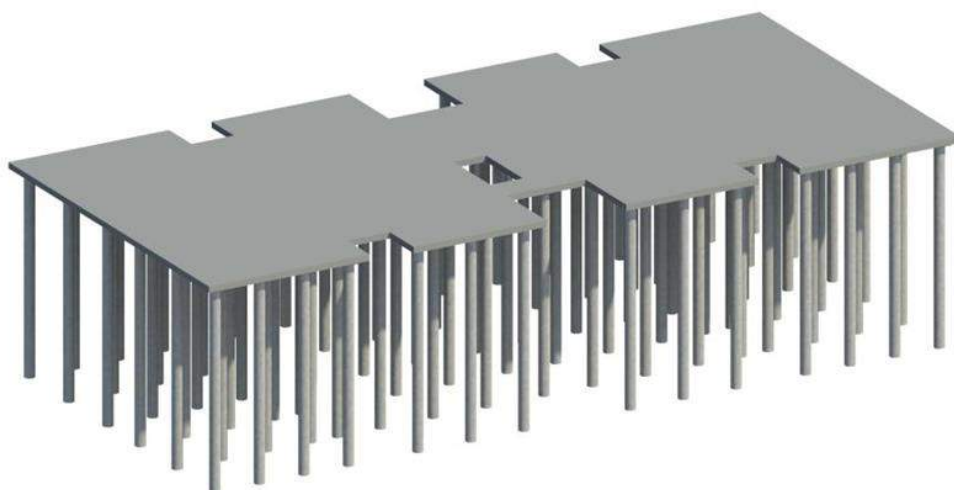
4.2 CONCLUSÕES E SOLUÇÕES

Após os dados do ensaio de sondagem (SPT) e análises disponibilizadas pela realização do laudo técnico, pôde-se chegar as conclusões necessárias sobre o caso para determinar como solucionar o problema encontrado.

Devido a presença do sumidouro, qualquer tipo de fundação superficial ficou automaticamente descartada. Portanto, a solução que será adotada envolverá a implementação de estacas no radier já existente, ou seja, uma micro estaca de reforço. Estas devem atravessar toda altura do sumidouro desativado e alcançar a camada de solo resistente. Executa-se as cintas e as estacas ancorando-as no radier, ou seja, fazendo uma cinta de amarração em cima do radier.

A figura abaixo (figura 37) demonstrará como seria a aplicação da micro estaca de reforço.

Figura 37 - Micro estaca de reforço



Fonte - Bloco1arqeng (2018)

A solução foi adotada por ter um custo menor, por ser rápida, visto que é feito com um trado que vai escavando, depois coloca-se a armação e concreta. Além de garantir alta durabilidade para a estrutura.

Apesar de essa ter sido a solução escolhida para a resolução do problema, existem mais três possíveis soluções que poderiam ter sido implementadas. A partir do fluxograma, encontrado no final do trabalho, pode-se compreender porque essas outras soluções não foram as mais favoráveis para o problema.

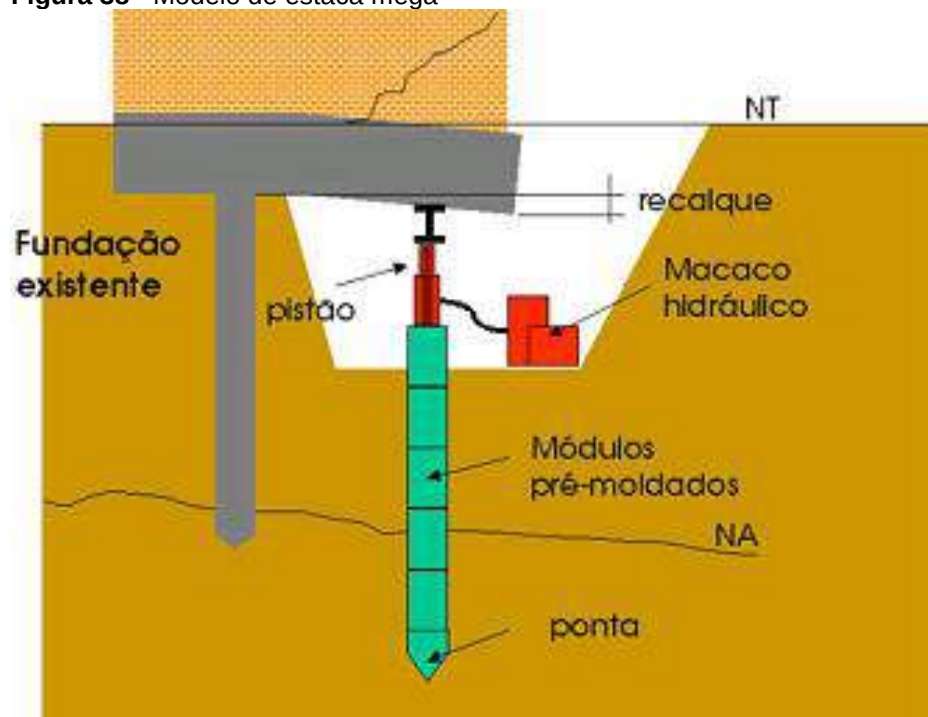
4.2.1 Estaca Mega

A primeira opção para substituir a utilização das micro estacas de reforço, seria a utilização da estaca mega. São também conhecidas como estaca de deslocamento, de acordo com a NBR 6122/1996, e é definida como uma estaca pré-moldada cravada de forma segmentada com equipamento hidráulico. São comumente utilizadas em reforço à fundação já existente ou para correção de patologias, como um recalque diferencial da estrutura.

Tem como principal vantagem o fato de dispensar demolições durante a execução.

A figura 38 demonstra o modelo da estaca mega.

Figura 38 - Modelo de estaca mega



Fonte - Langeotecniaefundacao (2016)

4.2.1.1 Por que não foi escolhida?

Como a construção é de pequeno porte, o custo da utilização da estaca mega é muito alto. De acordo com os valores de uma certa empresa entrevistada, a média de preço para a aplicação das estacas mega é de R\$13.000 (treze mil reais), juntando

valores com máquina e mão de obra. Ademais, deve-se levar em conta o tamanho do terreno.

Além disso, o terreno presente no local não ajudaria na entrada do macaco entrar, o que iria resultar em uma falta de certeza quanto ao comportamento. Há também a necessidade de um longo tempo de cravação, visto que, é necessário um tempo de pelo menos três semanas desde a data de concretagem até a de cravação. E pelo grande consumo de ferro.

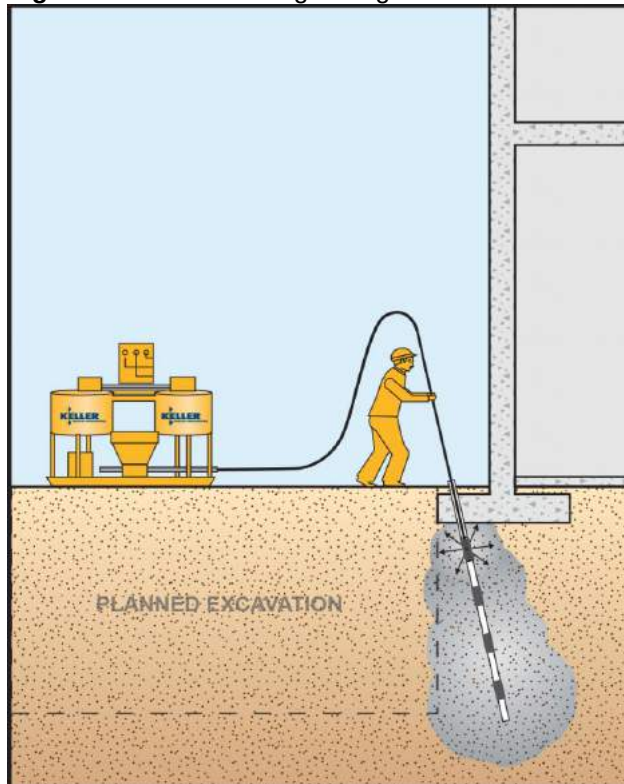
4.2.2 Permeation Grouting

Permeation grouting, ou injeção de pasta de cimento, foi uma outra solução pensada. Nada mais é do que um tipo de melhoramento de solos arenosos sem causar movimento ou fraturamento hidráulico. Basicamente, tem a ver com a substituição da água e do ar, presentes entre partículas do solo arenoso, fraco em resistência, por geogROUT pré-dimensionado, utilizando-se baixas pressões.

A aplicação consiste em sacos de cimento com água e o seu processo se dá com a compactação da pasta de cimento misturada com a areia, depois que a mesma endurecesse, forma-se um bloco.

A figura 39 mostra o processo de aplicação do permeation grouting.

Figura 39 - Permeation grouting



Fonte - Engegraut (2016)

4.2.2.1 Porque não foi escolhida?

A opção foi descartada por conta do tipo de solo presente no local que seria aplicado. O ensaio de sondagem de simples reconhecimento com SPT (sondagem à percussão com torque), mostrou que o solo era areia silto-argilosa (Figura 36), diante disso, a água da pasta de cimento não conseguiria preencher os vazios do solo e não iria compactar-se ao terreno.

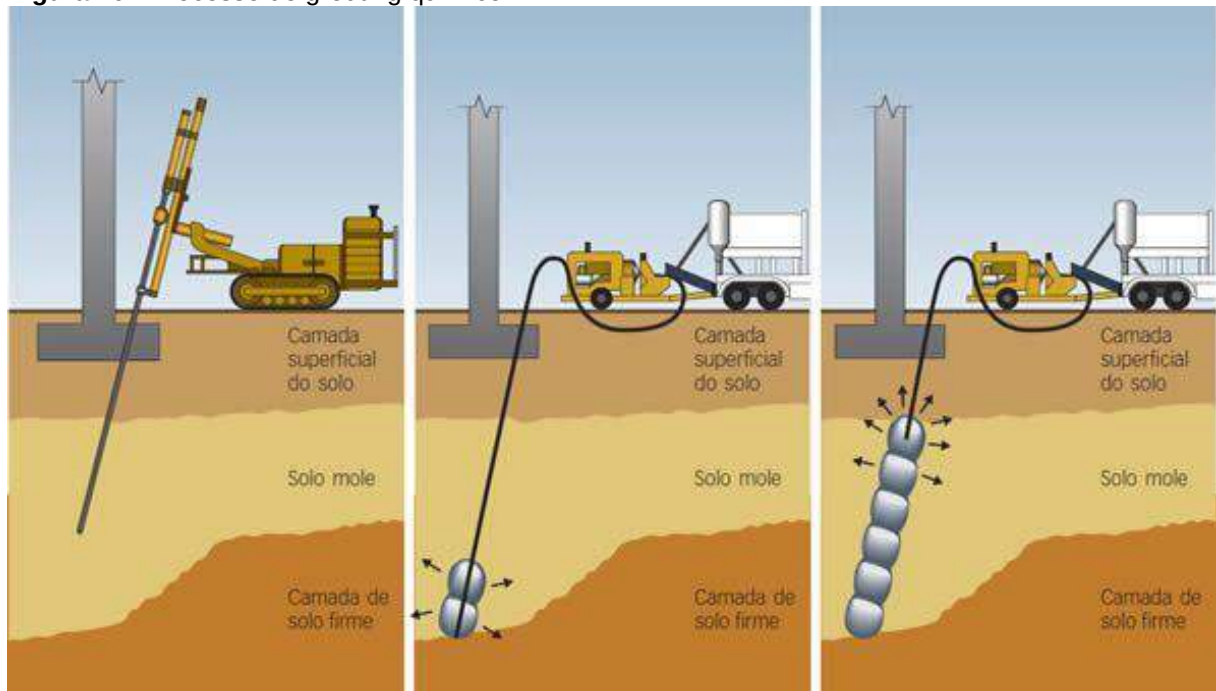
4.2.3 Grouting Químico

Outra solução do mesmo estilo do *Permeation grouting* é o uso do *grouting* químico, a sua diferença para com o outro é o fato de ser usado, principalmente, para solos argilosos.

Para o grauteamento químico de solos, é, normalmente, empregado líquidos que apresentam baixíssimas viscosidades que permeiam facilmente por solos de baixa permeabilidade, modificando suas propriedades em torno dos elementos estruturais. Melhorando, também, a capacidade de carga do solo.

A figura 40 demonstra o processo do grouting químico.

Figura 40 - Processo de grouting químico



Fonte - Langeotecniaefundacao (2016)

4.2.3.1 *Porque não foi escolhida?*

Apesar de melhorar o solo ao redor da estrutura, não se sabe como o grauteamento químico irá se comportar. Visto que, como ele vai trabalhar preenchendo os vazios da areia, ele não tende a subir até a superfície (como é o caso do permetion grouting), logo, não se sabe se formou os blocos, se está compactado ou como ficou por dentro.

Além disso, tem um custo duas vezes maior do que o do permetion grouting. Por ser contabilizado por saco de cimento injetado podemos fazer uma média de 10 sacos por ponto. Cada ponto de injeção você tem que se estar a uma distância de 2 metros com profundidade de 3 metros, que é a profundidade da fundação

Por se tratar de uma estrutura retangular de 36 m³, serão necessários 8 pontos de injeção. Logo, o total de sacos a ser utilizado seria de 80 sacos. Sabendo que o valor do saco para o permetion custa em torno de R\$100,00, e que para o grouting químico é o dobro do valor, teremos um custo para os sacos de R\$200,00.

Levando em consideração em conjunto com os valores dos sacos, um valor médio para mão e obra e equipamentos, teremos um total de custo para a utilização do grouting químico de R\$10.000,00 (dez mil reais).

É necessário salientar, também, que esse é um valor médio. Visto que, quando se injeta em um ponto, alguns vão se fechando e se consolidando, o que diminui a quantidade de sacos que serão utilizados.

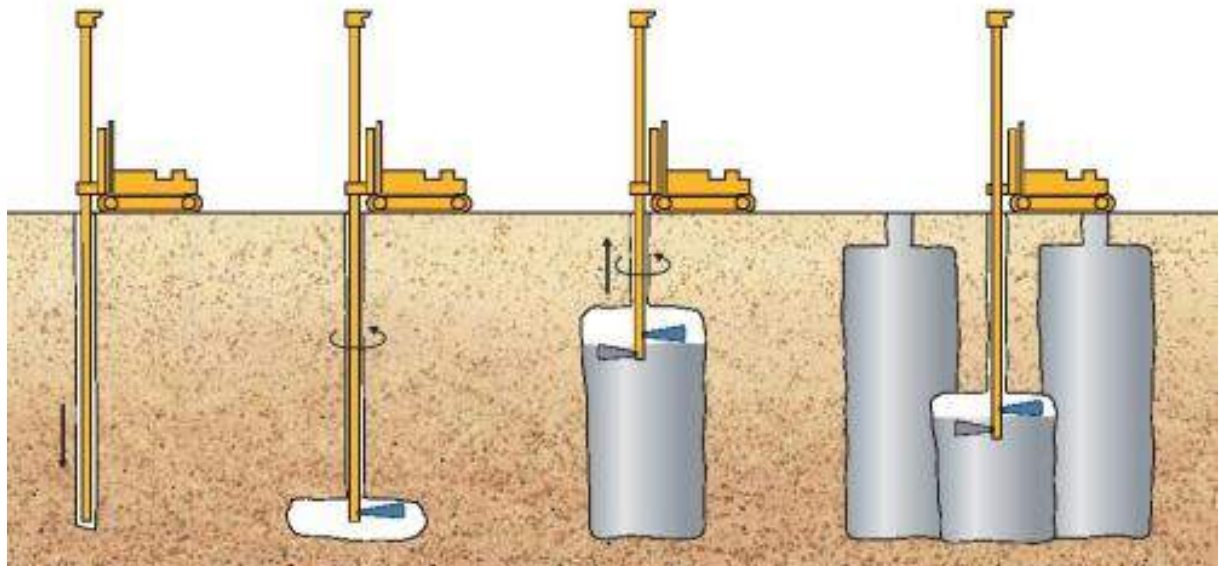
4.2.4 Jet Grouting

Por último, uma solução parecida com a solução final é a utilização do Jet Grouting. Um estaqueamento sem o uso de cinta e sem armação por dentro.

São colunas ou estacas, apoiadas no solo resistente, onde deseja-se, sempre, o menor nível de contaminação com o solo ao longo de seu fuste. Estaca sem armadura, que vem uma máquina que fará uma escavação com 3 metros e que injetará uma argamassa de pasta de cimento, formando várias colunas, unindo, ao longo da área, ao longo do radier e abaixo dele.

A figura 41 demonstra o jet grouting.

Figura 41 - Jet Grouting



Fonte - Langeotecniaefundacao (2016)

4.2.4.1 Porque não foi utilizada?

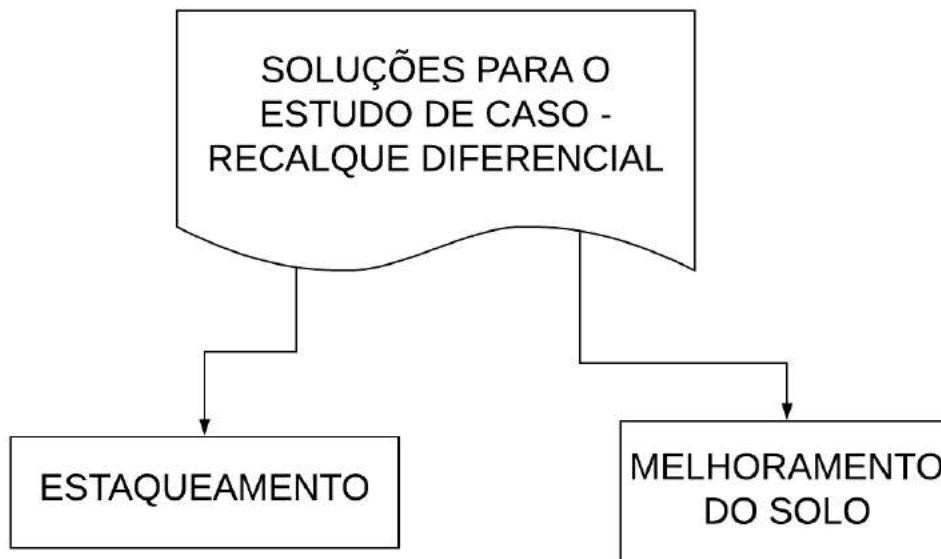
O custo é alto comparado com as outras soluções, tanto pelo método como pela máquina. É necessário um trabalho maior, visto que a máquina tem que furar o

radier porque ela ficará dentro e escorada nela. E também, em razão do tipo do solo presente no local.

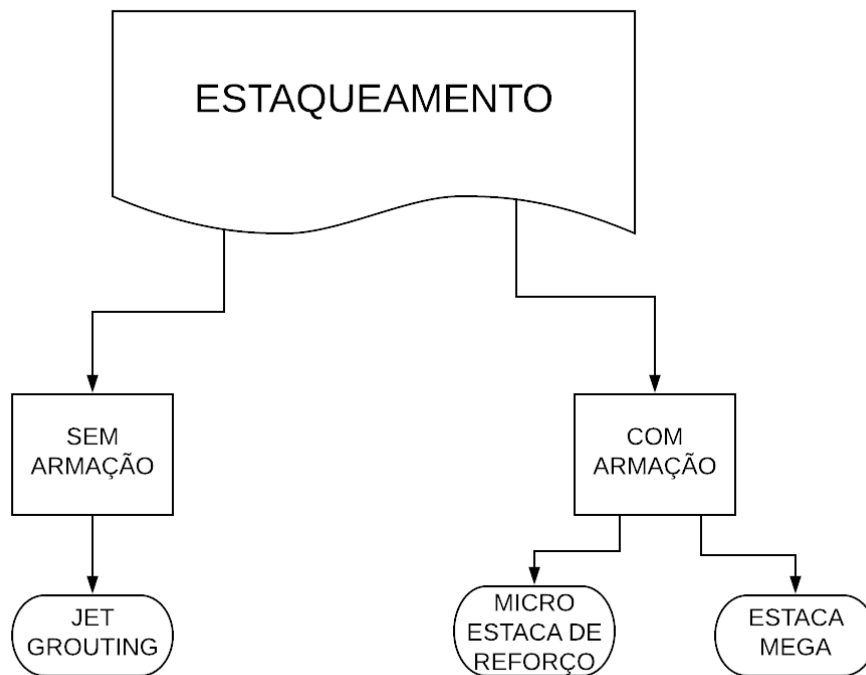
4.3 FLUXOGRAMA

Para um melhor entendimento das soluções adotadas, foi criado um fluxograma (Figuras 42 a 46) que contém as características de cada solução, como mostra a figura abaixo. No final, fica determinado qual delas foi a mais viável a partir de cada característica.

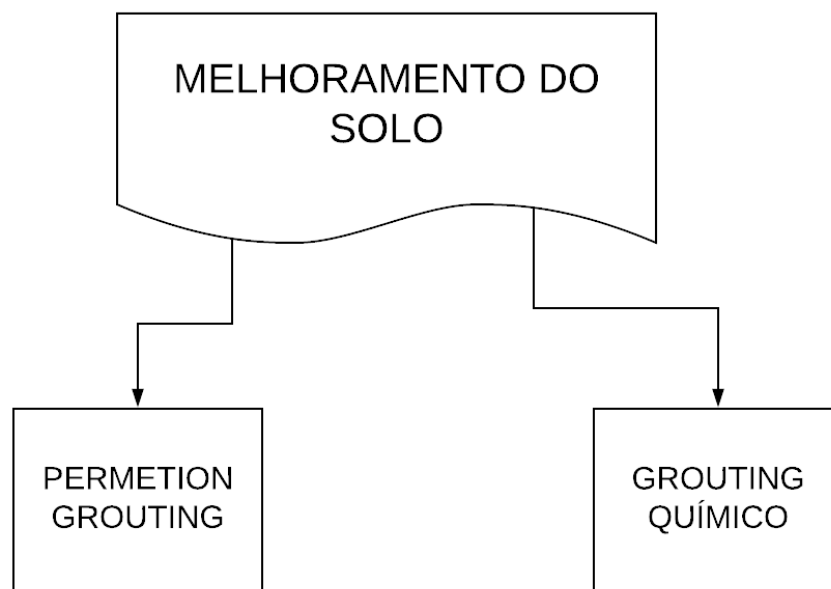
Figura 42 - Fluxograma de determinação de solução



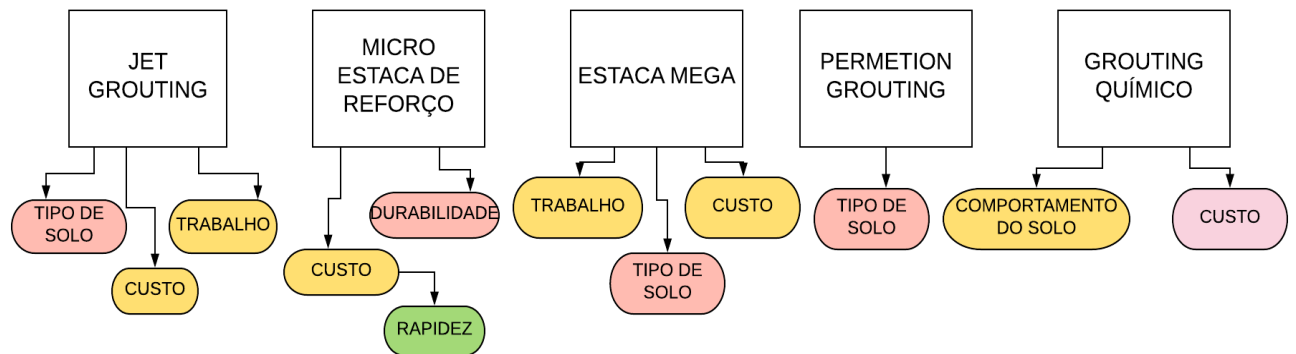
Fonte - Autor (2018)

Figura 43 - Fluxograma de determinação de solução

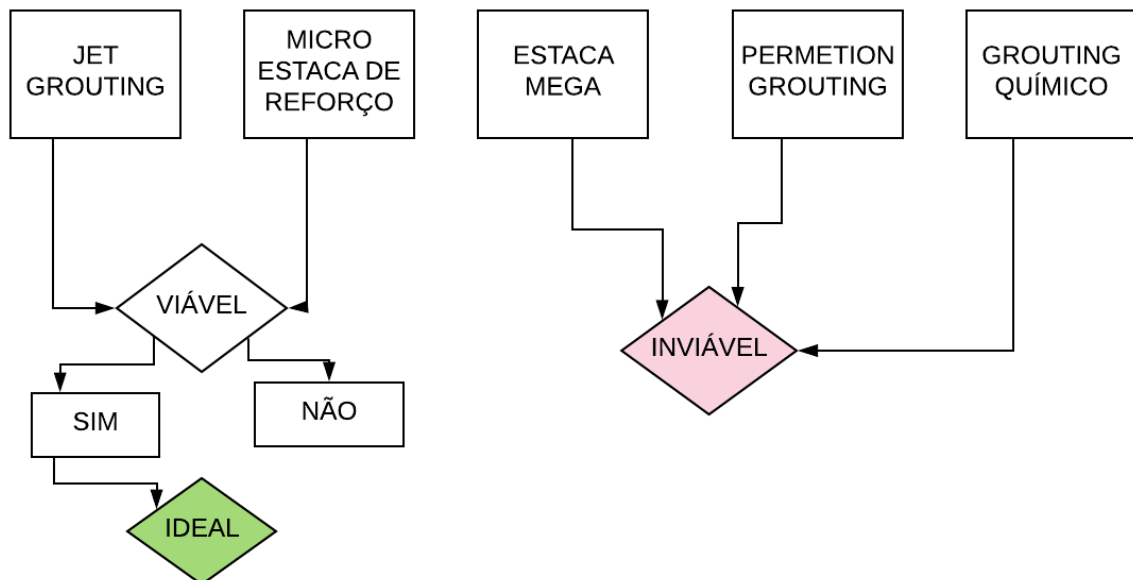
Fonte - Autor (2018)

Figura 44 - Fluxograma de determinação de solução

Fonte - Autor (2018)

Figura 45 - Fluxograma de determinação de solução

Fonte - Autor (2018)

Figura 46 - Fluxograma de determinação de solução

Fonte - Autor (2018)

4.4 SUGESTÕES PARA ETAPAS FUTURAS

- Analisar os métodos de melhoramento de solo para fundações e aterros;
- Analisar os métodos de reforço de fundações e recuperação das patologias;
- Comparar custos em situações de reforço e recuperação;
- Analisar a influência do recalque diferencial na excentricidade e no acréscimo de cargas nas fundações.

5. CONCLUSÃO

Em virtude do caso estudado, foi possível perceber a deficiência nos estudos geotécnicos, e em ensaios de sondagem em construções de pequeno porte, que são de grande importância no levantamento de qualquer edificação. Esses fatores somados à negligência quanto ao problema, visto que, mesmo após a primeira cessão do solo, não houve interesse por parte de ninguém da instituição para determinar o que de fato gerou aquela primeira cessão, resultou no recalque.

Em razão desses fatores, houve a realização de um laudo técnico que foi crucial para uma correta identificação, entendimento e determinação do reforço e recuperação do problema apresentado.

A solução de micro estaca de reforço foi a determinada para o caso em virtude do proposto pela instituição. Como a edificação era uma subestação de energia, era necessária uma rápida resolução do problema e, diante disso, a solução entrava nos quesitos propostos e garantiria uma maior vida útil para com a construção.

Assim sendo, esse trabalho descreveu as principais causas de recalques diferenciais de fundações, com isso foi possível obter resultados importantes a respeito das patologias decorrentes desses movimentos. Tendo como principal objetivo auxiliar na identificação da existência de movimentos em fundações e do entendimento das suas razões.

Com as pesquisas desenvolvidas e com a análise do estudo de caso foi possível aprimorar os conhecimentos sobre o tema, como, por exemplo, formas de prevenção ao recalque de fundações. Conclui-se que é fundamental a realização de investigações geotécnicas, de análise do solo e é importante que seja obtido informações sobre as edificações vizinhas com o objetivo de evitar possíveis interferências. Além disso, deve-se seguir as determinações de normas e de projeto, para garantir que os esforços da estrutura que atuam no solo sejam na intensidade e na forma prevista.

Também é possível concluir que, após a identificação das patologias decorrentes dos recalques de fundação, seja feito um controle das movimentações nas edificações ao longo do tempo para garantir a segurança da estrutura e do seu comportamento futuro. Além disso, recomenda-se que o reforço e a recuperação das patologias apresentadas sejam feitos após uma análise dos dados e de um laudo

técnico. É necessária uma manutenção preventiva das construções para reconhecer sinais de manifestações patológicas de futuros problemas estruturais.

Depois da análise das bibliografias, das teses e do caso estudado, foi notório perceber que o problema do recalque, sendo esse, diferencial ou não, é uma patologia bastante encontrada na engenharia civil, principalmente em edificações de pequeno e médio porte. Por isso é importante um estudo sobre esse tema, para garantir que o número de casos com esse problema diminua e que a consciência dos engenheiros sobre a importância dos estudos de sondagem aumente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2010. 103 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484**: Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2001. 8 p.

ALBUQUERQUE, Raquel Cristina Borges Lopes; GUSMÃO, Alexandre Duarte. **Considerações sobre a Relevância da Interação Solo-Estrutura em Recalques: Caso de um Prédio na Cidade do Recife**. 2006. Trabalho de Pesquisa. Universidade de Pernambuco. Recife. 5p. 2006.

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

CARVALHO, D. M. D. C. D. **Patologia da fundações**: fundações em depósito de vertente na cidade de Machico. Tese de Mestrado. Funchal: Universidade da Madeira. 2010.

CINTRA, José Carlos A.; AOKI, Nelson; ALBIERO, José Henrique. **Fundações diretas**: Projeto Geotécnico. 1 ed. Oficina de textos, 2011. 136 p.

MURTHY, V. N. S. **Geotechnical Engineering**: Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering. New York: Marcel Dekker, 2003.

NAKAMURA, Juliana. **Infraestrutura urbana**: Reforço por injeção de cimento. 2011. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/12/reforco-por-injecao-de-cimento-tecnica-de-jet-grouting-250955-1.aspx>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

OLIVARI, G. **Patologia em edificação**. Trabalho de Conclusão de Curso. São Paulo: Universidade Anhembi Morumbi. 2003

QUARESMA, A. R. et al. **Investigações geotécnicas**. Fundações: Teoria e Prática. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998. Cap. 3.

REBELLO, Yopanan C. P. **Fundações**: Guia prático de projeto, execução e dimensionamento. 6. ed. São Paulo: Zigurate, 2008.

SANTOS, Guilherme Veloso. **Patologias devido ao recalque diferencial em fundações**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil). Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas do UniCEUB. Brasília, 111p, 2014.

SCHNAID, Fernando; MILITITSKY, Jarbas; CONSOLI, Nilo Cesar **Patologia das fundações**. 2 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2015. 256 p.

SCHRÖDER, Leonardo Hoppe. **Laudo de perícia técnica**. Natal: Hoppe Engenharia, 2017. 11 p

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

VELLOSO, Dirceu de Alencar; LOPES, Francisco de Rezende. **Fundações: Volume Completo**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 568 p.