



FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS – FATECS

CURSO: ENGENHARIA CIVIL

Victoria Maria Callai de Melo

Reforço de Fundação em Estaca Raiz: Estudo de Caso.

Brasília

2017

VICTORIA MARIA CALLAI DE MELO

Reforço de Fundação em Estaca Raiz: Estudo de Caso.

Trabalho de Curso (TC) apresentado como um dos requisitos para a conclusão do curso de Engenharia Civil do UniCEUB– Centro Universitário de Brasília

Orientadora: Eng^a. Civil Neusa Maria B. Mota, D.Sc.

Brasília

2017

VICTORIA MARIA CALLAI DE MELO

Reforço de Fundação em Estaca Raiz: Estudo de Caso.

Trabalho de Curso (TC) apresentado como um dos requisitos para a conclusão do curso de Engenharia Civil do UniCEUB– Centro Universitário de Brasília

Orientadora: Eng^a. Civil Neusa Maria B. Mota, D.Sc.

Brasília, 18 de dezembro de 2017.

Banca Examinadora

Eng^a.Civil: Neusa Maria B. Mota. D.Sc.

Orientadora

Eng^o. Civil Jairo Furtado Nogueira, M.Sc

Examinador Interno

Eng^o. Jocinez N. Lima D.Sc.

Examinadora Externa

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

José de Alencar

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela minha vida e por sempre abrir-me caminhos.

Agradeço a minha família que me apoiou e se fez presente em todos os momentos, principalmente nos que mais precisei.

Ao meu namorado pelo incentivo e por acreditar na minha capacidade.

Aos meus amigos pela motivação e predisposição a ajudar.

Agradeço a minha professora orientadora Neusa Maria B. Mota, por toda contribuição, pelos ensinamentos, pela ajuda, por me receber como orientanda e fazer parte dessa história.

Agradeço aos meus professores que fizeram parte dessa jornada, repassando conhecimentos e experiências.

RESUMO

O reforço de fundações tem sido cada vez mais frequente durante a execução de obras de edifícios, principalmente devido a concepção incorreta do projeto de fundações, incompatibilidade com o projeto estrutural e falhas no processo executivo das fundações, motivados pela ausência de conhecimento do solo e recalques indesejados. Os modelos construtivos veem sendo aperfeiçoados e a análise do elemento de fundação e o solo, de forma isolada, deve ser substituído por uma análise mais ampla de interação solo estrutura, principalmente quando se dispõe de meios para a realização das investigações geotécnicas, provas de carga e monitoramento de recalque. Essas medidas fornecem parâmetros para uma análise mais completa podendo-se obter o real comportamento das fundações. Sabendo-se o quanto é importante avaliar o comportamento das edificações e de suas fundações, para obter uma análise adequada dos resultados, este trabalho tem como objetivo apresentar a análise o desempenho das fundações de uma edificação residencial, situada no Distrito Federal, contendo 24 (vinte e quatro) lajes. Com base no monitoramento de recalque, sondagens a percussão SPT e mistas e na conformidade de projeto de fundação foi proposto um reforço de fundação em estaca raiz para resolução dos problemas de recalque observados durante a execução da obra. De acordo com as análises, se constatou que a carga atuante em alguns pilares representava o dobro da carga projetada para as fundações dos mesmos. Os resultados do monitoramento de recalque e cargas nos pilares foram obtidos mediante o crescimento da carga vertical, durante toda a realização da obra, desde o nivelamento até demandado todo o carregamento. Assim foi possível obter parâmetros de deformabilidade da obra como um todo e comparar os dados de recalque referente a execução, incorporação e estabilização do reforço, analisando a importância do monitoramento de recalque para caráter preventivo, evitando assim que os problemas sejam resolvidos tardiamente, e que o custo da obra no caso de possível erros não seja tão elevado.

PALAVRAS-CHAVE: Reforço. Monitoramento de recalque. Estaca Raiz

ABSTRACT

Due to the lack of technologies in the execution of some foundations, it is necessary to use reinforcement. Motivated by the lack of knowledge of unwanted ground re-calques appeared in buildings, but the soil is not the only responsible for these destabilizations. The constructive models were improved and a way of analyzing the foundation and the soil in which it was installed, by conducting the geotechnical investigations, soil structure interaction, SPT (Standard Penetration Test) test, load tests and monitoring of repression. These measures provide parameters for a more complete analysis by obtaining the actual behavior of the foundations in question, however, due to the complexity of the repression control method, no real details are presented. It is known how important it is to evaluate the behavior of the buildings and their foundations in order to obtain an accurate analysis of the results. This work aims to analyze the performance of the foundation of a residential building located in the Federal District with 24 slabs evaluating remediation monitoring, SPT testing, and foundation design compliance and the soil in question. Based on the analyzes carried out and mainly on the monitoring of repression, it was discovered that the existing foundation, which did not obtain verification of the compatibility of the project and of the working loads, caused two pillars of the work to present higher pressures than the others. According to the analyzes, it was found that the load acting on each of these pillars represented twice the load projected for the pipes located below the pillars, so it was proposed to reintegrate the foundation by means of a root cutting. The results of the press-up and load on the abutments were obtained by increasing the vertical load during the whole work, from leveling to de-loading the entire load. Thus it was possible to obtain parameters of deformability of the work as a whole and to compare the data of repression referring to the execution, incorporation and stabilization of the reinforcement, analyzing the importance of the monitoring of repression for preventive character, thus avoiding that the problems are solved and that the cost of the work in case of possible errors is not so high.

KEY WORDS: Reinforcement. Monitoring of repression. Root Stake.

Sumário

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS.....	14
2.1	Objetivo geral	14
2.2	Objetivo Específico.....	14
3	Revisão Bibliográfica	15
3.1	Sistema de fundações	15
3.1.1	Escolha do tipo de fundação	16
3.1.2	Ações nas fundações	17
3.2	Fundações profundas.....	18
3.3	Estaca Raiz	19
3.3.1	Execução de estaca Raiz	20
3.4	Recalques	21
3.4.1	Recalque absoluto e recalque diferencial.....	24
3.4.2	Recalques admissíveis.....	25
3.4.3	Medição de recalque	26
3.5	Reforço de Fundação	31
3.5.1	Causas do reforço	31
3.5.2	Concepção de reforço	32
3.5.3	Tipos de reforço	33

4	estudo de caso.....	38
4.1	Caracterização da obra e do subsolo	38
4.1.1	Investigação Geotécnia	41
4.2	Análise de desempenho das fundações.....	45
4.2.1	Medição de recalque durante a execução da obra.....	45
4.2.2	Conformidade de projeto de fundação	46
4.2.3	Reforço de fundação	46
5	Análise de resultados.....	48
5.1	controle de recalque antes do reforço	48
5.2	Conformidade de projeto	54
5.3	reforço de fundação executado	55
5.3.1	Monitoramento de recalque durante o reforço.....	62
5.3.2	Monitoramento de recalque após o reforço	65
6	Conclusão	74
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Fundação superficial e profunda.....	16
Figura 2 Fases de execução de estaca Raiz	21
Figura 3 Curva pressões - recalques.....	22
Figura 4 Deslocamento do terreno	23
Figura 5 Ruptura por puncionamento	23
Figura 6 Distorções angulares limites.....	26
Figura 7 método de medição por meio de nível ótico	27
Figura 8 Instrumentação benchmark	29
Figura 9 Nível ótico.....	29
Figura 10 Mira- régua topográfica.....	30
Figura 11 Pino de recalque.....	30
Figura 12 Escoramento provisório	33
Figura 13 Aumento da área de base de Tubulão.....	34
Figura 14 Reação contra a estrutura existente	35
Figura 15 Reforço com estaca Raiz inclinada.....	36
Figura 16 corte de reforço com estaca Raiz	36
Figura 17 Mapa de locação	38
Figura 18 Planta de situação	39
Figura 19 Vista Frontal.....	39

Figura 20 edifício analisado	40
Figura 21 Projeto de fundação das juntas A e B.....	41
Figura 22 Vista de execução das sondagens	41
Figura 23 Locação Sondagem Mista 2010	42
Figura 24 projeto de fundação Junta A	43
Figura 25 Estratigrafia do solo	44
Figura 26 Curva recalque acumulado x dias.....	49
Figura 27 Curva velocidade de recalque x dias	51
Figura 28 Quantitativos executados em relação às medições de recalque	52
Figura 29 Curva iso-recalque.....	53
Figura 30 Bloco P107	56
Figura 31 Bloco P114/114A/114B.....	57
Figura 32 Bloco P101/101A	57
Figura 33 Bloco P106/106A.....	58
Figura 34 Bloco P102	58
Figura 35 Bloco P115/115A.....	59
Figura 36 Bloco P103/105	60
Figura 37 Bloco P108/109	61
Figura 38 Bloco P113/116/116A/601	62
Figura 39 Recalque acumulado x dias.....	63

Figura 40 Velocidade de recalque x dias	63
Figura 41 Comparativo de recalque acumulado e velocidade da empresa A e B até a 19ª medição	64
Figura 42 Quantitativos executados até a 19ª medição.....	65
Figura 43 Curva recalque acumulado x Dias.	66
Figura 44 Curva velocidade de recalque x Dias.	66
Figura 45 Quantitativos até a 31ª medição.	67
Figura 46 Recalques distorcionais.....	68
Figura 47 Curva comparativa entre reforço, incorporação e estabilização.	69
Figura 48 Curva carga x recalque.....	70

INDICE DE TABELAS

Tabela 1 Característica das estacas-raiz.....	20
Tabela 2 Recalques acumulados.....	49
Tabela 3 Velocidade de recalque	51
Tabela 4 Tensões máximas dos pilares.....	54
Tabela 5 Resultados de recalque total e velocidade de recalque da 31ª Medição – Junta A	71
Tabela 6 Resultados de recalque total e velocidade de recalque - Junta A após reforço	72

1 INTRODUÇÃO

No passado as edificações eram construídas sob escombros e não se tinha noção das características reais do solo tão pouco dos materiais que se encontravam nele, não se possuía parâmetros reais a serem observados, por isso muitas vezes as edificações apresentavam deformações e outras patologias devido a condições desfavoráveis de terrenos de apoio. Até hoje são identificados problemas referentes aos desempenhos das fundações. Alguns problemas correm devido a falhas de projeto e de execução das fundações.

Os reforços de fundação ocorrem em alguns casos devido a falta de estudos preliminares, estudo do solo no qual a fundação foi instalada, falta de sondagens, que são fundamentais para instalação de uma fundação, alteração do carregamento da estrutura, mau desempenho da fundação existente e até mesmo por alteração do tipo uso da estrutura. Todos esses fatores podem ocasionar desconforto ao usuário devido a problemas estéticos até problemas estruturais mais graves.

Para a realização de reforço de fundação é preciso analisar e realizar estudos de diversos fatores antes da realização da obra, assim garantindo maior segurança no trabalho realizado, para que não sejam necessários reparos futuros, afinal o reforço já está resolvendo um problema anterior.

Os problemas com fundações vêm ocorrendo cada vez mais nos últimos anos devido a não atenção a fatores importantes a serem verificados nas obras como a realização de provas de cargas, sondagens SPT (Standard Penetration Test), verificação da conformidade de projeto e monitoramento de recalque. Os empregos de análises em que são consideradas toda a interação da estrutura entre si e com o solo em questão exercem bastante influência na determinação de parâmetros cada vez mais reais e precisos, o que é fundamental na Engenharia Civil.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral analisar a implantação de um reforço de fundação realizado em estaca raiz, durante a execução de uma obra residencial, no Distrito Federal, com base nas análises de projeto, ensaios e medições de recalques, com análise das causas que conduziram a necessidade da reintegração da estrutura de fundação.

A análise engloba todo o estudo da obra desde o início das medições de recalque, percepção do problema até a total estabilização dos recalques.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Apresentar o projeto de fundação do local da obra.
- Analisar as investigações geotécnicas realizadas pela empresa parceira.
- Investigar medições realizadas para controle de recalques.
- Verificar conformidades de projeto.
- Analisar a implantação do reforço de fundação.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 SISTEMA DE FUNDAÇÕES

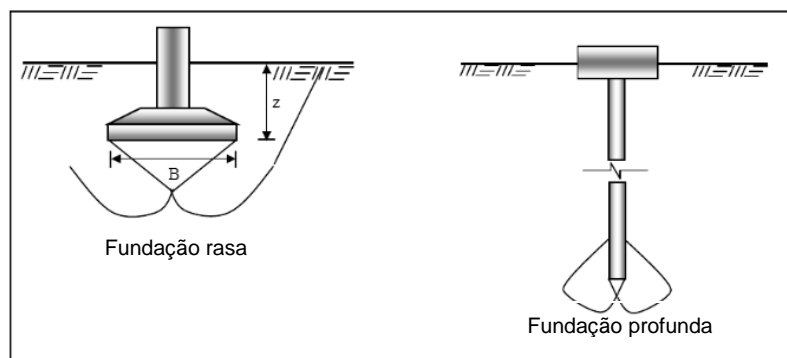
No dicionário Aurélio da Língua Portuguesa Holanda (2010) a palavra fundação se refere aos termos “Instituir, estabelecer, edificar, assentar, basear, firmar, profundar, afundar”. Assim com essa descrição podemos começar uma pequena análise de definição do termo fundação. As fundações são estruturas bases das edificações, por meio das quais a carga de qualquer estrutura é transmitida a parte possuinte de maior resistência do terreno ao qual a obra estará alocada.

Define-se como fundação o sistema ou conjunto de elementos estruturais capaz de transferir ao solo natural todo carregamento provindo da edificação. Os elementos estruturais de fundação devem apresentar resistência adequada para suportar as tensões geradas pelos esforços solicitantes, para transmitir de forma segura as ações da superestrutura ao solo.

As fundações são parte importante da edificação pois sem elas o carregamento existente na estrutura seria transmitido para um local do solo não adequado. Para que os dimensionamentos das fundações sejam adequados são necessários ensaios para a verificação da qualidade do solo existente, assim evitando equívocos que possam causar problemas futuros.

Segundo a NBR 6122 (2010) as fundações podem ser classificadas dois grandes grupos, Figura 1, são eles: rasas ou superficiais, profundas e um terceiro de fundações mistas que se baseiam na composição de fundações superficiais e profundas.

Figura 1 – Fundação superficial e profunda.



Fonte: SALES (2010, p.4)

3.1.1 Escolha do tipo de fundação

Segundo Alva (2007) o comportamento e a qualidade de uma fundação dependem de uma escolha adequada, esta que deve atender as necessidades de desempenho e custos da obra. Qualquer escolha indevida pode ocasionar custos superelevados de recuperação ou até mesmo colapso da estrutura, além de outros inconvenientes.

Ainda segundo Alva (2007) é de função do engenheiro de fundações planejar e desenvolver o projeto, procurando obter todas as informações necessárias para dar a solução mais adequada para cada situação, estudar as diferentes soluções e variantes, analisar processos executivos, estimar custos, prever repercussões e assim então decidir sobre a viabilidade técnica e econômica da situação.

Os fatores que podem influenciar na escolha do tipo de fundação são:

Relativos a superestrutura: Deve ser analisado de acordo com a escolha do material, de acordo com sua função e com relação as ações atuantes.

Características e propriedades mecânicas do solo: As investigações geotécnicas são de suma importância para definir o tipo de fundação mais adequado. Por meio delas são obtidos os dados do solo, tipo, cor, granulometria, etc.

Posição e característica do nível de água: Dados sobre o lençol freático são necessários caso haja necessidade de um possível rebaixamento.

Aspectos técnicos do tipo de fundação: Frequentemente surgem limitações ligadas a capacidade de carga, equipamentos disponíveis, restrições técnicas tais como: nível d'água, camadas de solo muito resistentes, matacões, repercussão de prováveis recalques etc.

Edificações vizinhas: Necessidade de estudo nas limitações do terreno, e proteção as edificações vizinhas, de acordo com o conhecimento do tipo e estado de conservação dos mesmos, são necessárias também análises de tolerância a ruídos e medição de vibrações.

Custo: Logo após a análise técnica realiza-se um estudo comparativo entre as alternativas indicadas. Dependendo da dificuldade técnica os custos podem se elevar, e assim o projeto arquitetônico pode ser modificado. Outro ponto que interfere no custo é o planejamento inicial e executivo, em algumas situações uma fundação planejada que tenha um custo mais elevado pode trazer retorno financeiro mais rápido.

Limitações do tipo de fundação existente no mercado: Em determinadas regiões alguns tipos de fundações são predominantes em mercado, por serem mais convenientes localmente, sendo assim são poucas as opções dependendo da região, por isso são feitos estudos de viabilidade de utilização de um tipo de fundação tecnicamente indicada, mas não existente na região.

3.1.2 Ações nas fundações

A análise das ações nas fundações neste trabalho está ligada com o princípio de tomar entendimento de tais medidas para evitar futuros problemas relacionado as cargas que estão atuando na edificação.

Para Velloso & Lopes (2012) uma estrutura está sujeita a solicitações que podem ser classificadas de diferentes maneiras. Em outros países são classificadas como cargas “vivas” e cargas “mortas”.

Cargas vivas: Operacionais, ambientais e acidentais.

- Operacionais: ocupação por pessoas e móveis, passagem de veículos e pessoas, operação de equipamentos móveis, armazenamento, frenagem e aceleração de veículos.

- Ambientais: Ventos, ondas, correntes, temperaturas, sismos.
- Acidentais: colisão de veículos, explosão, fogo.

Cargas mortas ou permanentes: peso próprio da estrutura e equipamentos permanentes, empuxo de água, empuxo de terra.

Já a NBR 8681, (2003) tem a seguinte classificação para as ações, que podem ser: Ações permanentes, ações variáveis e ações excepcionais.

- Ações permanentes: Que podem ser diretas e indiretas ocorrem durante toda a vida da edificação, com valores constantes e sem muitas variações: peso próprio da construção, peso de equipamentos, esforços devido a recalques de apoio, empuxos.
- Ações variáveis: Ocorrem com variações significativas durante a vida da obra: ações variáveis devido ao uso da obra, ações ambientais e intemperes como ventos, ondas etc. Elas podem ser consideradas ações variáveis normais, que tem probabilidade de ocorrência significativamente grande para serem consideradas em projeto e ações variáveis especiais, que devem ser especificamente para situações especiais consideradas.
- Ações excepcionais: As que têm duração significativamente curta e muito baixa probabilidade de ocorrência, mas que devem ser consideradas em projeto: colisões entre veículos, explosões, enchentes, sismos.

Consideram-se as ações acima descritas nas fundações, pois, são parte muito importante da estrutura de uma edificação, sendo assim apontados para o melhor dimensionamento.

3.2 FUNDAÇÕES PROFUNDAS

O conceito de fundação profunda está presente na NBR 6122 (2010), que a descreve como tipo de fundações pelo qual a transferência de carga se dá pela ponta ou base, conhecida como resistência de ponta, por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou pela combinação das duas, onde sua ponta ou base deve estar a uma profundidade ao dobro de sua menor dimensão em planta e no mínimo três metros.

Neste tipo de fundação estão inclusos, as estacas, os tubulões e os caixões, que se diferem pelo formato e execução. As estacas podem ser divididas em: de madeira, concreto pré-moldado, de aço cravadas, tipo Strauss, tipo Franki, estaca escavada, estaca Raiz, microestaca injetada e estaca Hélice.

Segundo Velloso & Lopes (2012) as estacas podem ser classificadas por diferentes critérios, de acordo como o material elas podem ser de madeira, aço, concreto e mistas, segundo o processo executivo que são separadas de acordo com o efeito do solo são: estacas de deslocamento onde estão as estacas cravas em geral o solo é deslocado no espaço onde a estaca vai ocupar, e as de substituição, onde estão as estacas cravadas em geral e o solo no local da cravação é retirado, causando um nível de redução nas tensões horizontais geostáticas. Ainda se destaca uma categoria intermediária citada por Velloso & Lopes (2012) que são as estacas sem deslocamento, que em seu processo de execução não há praticamente remoção de solo.

3.3 ESTACA RAIZ

Conforme a NBR 6122 (2010), a estaca raiz é uma estaca escavada de pequeno diâmetro, moldada in loco, no local da construção, em que toda a perfuração é revestida, em solo, por meio de segmentos de tubos metálicos (revestimento) que vão sendo rosqueados à medida que a perfuração é executada. Onde os segmentos utilizados no revestimento são recuperados.

A estaca raiz é armada em todo o seu comprimento e a perfuração é preenchida por argamassa de cimento e areia. Segundo Velloso & Lopes (2012) esse tipo de estaca foi desenvolvido em sua origem para a contenção de encostas quando eram cravadas formando reticulados, em seguida foram utilizados como reforços de fundações e só após isso foram usadas realmente como fundações normais.

Esse tipo de estaca possui particularidades que propiciam a sua utilização onde as outras demais estacas não podem ser utilizadas: elas não produzem choques nem vibrações, são viáveis para atravessar blocos de rochas ou peças de concreto, os equipamentos de execução em geral são de pequeno porte o que permite que as estacas sejam executadas em lugares com restrição de espaço, podem também ser

executadas na vertical ou com qualquer inclinação, fazendo com que seja um dos principais tipos de fundação utilizadas para reforço, (VELLOSO e LOPES, 2012).

Abaixo na Tabela 1 são expostas algumas características das estacas Raiz:

Tabela 1 Característica das estacas-raiz

Características da estaca Raiz									
Diâmetro final da estaca	mm	100	120	150	160	200	250	310	410
Área da seção transversal da estaca	cm ²	79	113	177	201	380	491	755	1320
Momento de inércia	cm ⁴	491	1018	2485	3217	7854	19175	45333	138709
Perímetro da estaca	cm	31	38	47	50	63	79	98	126
Distância mínima entre eixos	cm	60	60	60	60	70	80	100	130
Distância do eixo a divisa	cm	30	30	30	30	30	30	30	30

Fonte: Modificada de Hachich, Falconi, Saes, Frota, Carvalho, & Niyama, 1998.

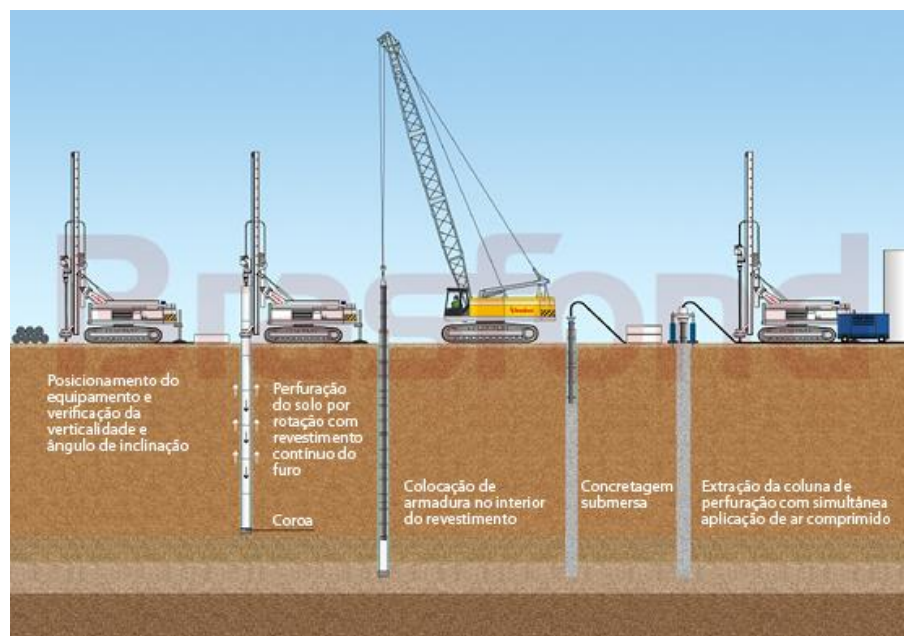
3.3.1 Execução de estaca Raiz

Segundo a NBR 6122 (2010), o processo executivo das fundações do tipo Raiz se dá conforme os passos a seguir:

- Perfuração se dá mediante duas situações, a primeira, solo normal onde sua execução é realizada por meio de perfuratriz rotativa ou roto-percurssiva que introduz o revestimento por meio de injeção de água de circulação direta em seu interior. E a segunda em solos com matacões ou embutimento em rocha onde o procedimento deve ser o mesmo realizados em solos normais até atinja matacão ou topo rochoso, a perfuração é seguida por dentro do revestimento com equipamentos apropriados para perfuração de rochas.
- Limpeza do furo e colocação da armação: Após o fim da perfuração é feita a limpeza do furo para colocação da armadura, que pode ser moldada em feixe ou em gaiola, sendo apoiada no fim do furo.
- Concretagem: O furo é preenchido com argamassa mediante bomba de injeção, por meio de um tubo descido até o limite da escavação (ponta da estaca). O preenchimento é feito de baixo para cima expul-

sando toda a água de circulação. Após o procedimento de preenchimento com argamassa é realizada a retirada do revestimento, e o nível de argamassa é completado.

Figura 2 Fases de execução de estaca Raiz



Fonte: www.brasfond.com.br. Acessado em 21/11/2017 - 09:20.

3.4 RECALQUES

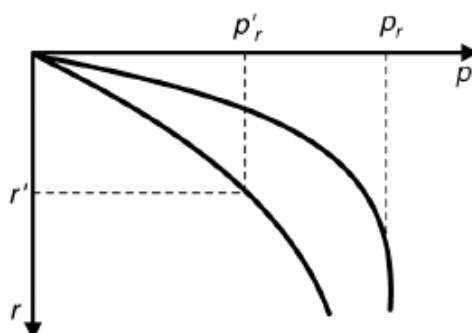
Toda fundação passa por deformações que podem ser deslocamentos verticais (recalques), deslocamentos horizontais ou rotacionais. Esses deslocamentos são dependentes do solo e da estrutura, ou seja, do resultado da interação desses dois elementos. Quando esses deslocamentos ultrapassam certos limites que podem ser aguentados pela edificação podem ocorrer problemas. (PORTO, 2010).

Recalque pode ser descrito como a deformação do solo quando este é submetido a cargas oriundas principalmente das edificações, como está sendo estudado nesse trabalho, dependendo da deformação podem ocasionar vários danos as estruturas.

Outra situação que se deve atentar-se é sobre a excentricidade, em vários projetos depara-se com a necessidade de análise dos efeitos da excentricidade das cargas sobre a fundação, um fator importante no estudo dos recalques. (BERBERIAN, 1999).

Segundo Caputo (1988) quando uma carga que é proveniente de uma fundação é aplicada no solo, este se deforma e acaba ocasionando o recalque da fundação. Quanto maior a carga, maiores os recalques e para pequenas cargas os recalques são aproximadamente proporcionais. Como mostra na Figura 3 duas curvas pressões-recalques mostra que os recalques continuam crescendo com o aumento das pressões, porém não evidencia uma pressão de ruptura (p'_r) em função de um recalque máximo (r') especificado. Caputo (1988) denomina esse fenômeno como ruptura localizada, onde enquadram-se os solos muito compreensíveis.

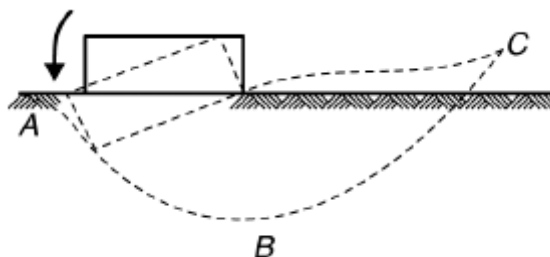
Figura 3 Curva pressões - recalques



Fonte: Caputo, 1988.

A Figura 4 mostra o deslocamento do terreno, que faz com que a fundação seja arrastada, assim o solo passa do estado elástico para o estado plástico. O deslocamento ocorrido ao longo da superfície ABC é devido a ocorrência de tensões de cisalhamento maiores que a resistência ao cisalhamento do solo.

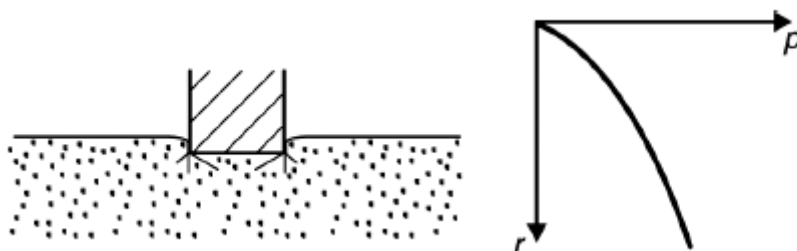
Figura 4 Deslocamento do terreno



Fonte: Caputo, 1988.

Existem também as rupturas por puncionamento, onde a medida que a carga cresce, o movimento vertical da fundação é acompanhado pela compressão do solo que está logo abaixo da edificação, como mostrado na Figura 5.

Figura 5 Ruptura por puncionamento



Fonte: Caputo, 1988.

Caputo (1988) Aponta que um dos problemas fundamentais na engenharia é a determinação de recalques de uma construção. Ele distingue três tipos de recalques devido a cargas elásticas ocasionados pelo solo: por deformação elástica, escoamento lateral e adensamento.

- Recalque por deformação elástica: decorrente de um fenômeno geral, mostrando que todo material se deforma quando é exposto a carregamentos. São imediatos a aplicação da carga e predominam nos solos não coesivos.

- Recalque por escoamento lateral: tem origem pelos deslocamentos das partículas de solo das zonas mais carregadas para as menos solicitadas, são predominantemente mais acentuadas em solos não coesivos sob fundações rasas.
- Recalque por adensamento: tem origem pela expulsão de água dos vazios do solo, são importantes se tratando de solos argilosos, são muito lentos por causa do baixo coeficiente de permeabilidade das argilas.

3.4.1 Recalque absoluto e recalque diferencial

Para Bahia (2013) um fator importante é a deformada de recalques, que muitos autores mostram que tende a suavização por causa da rigidez estrutural da edificação. Os recalques tendem a se uniformizar devido a amarração dos elementos, fazendo com que a deformação seja mais centrada. As ligações permitem a transferência de carga dos pilares mais carregados para os menos carregados, assim não tendo muita influência nos recalques absolutos, mas causando uma grande diminuição nos recalques diferenciais que são os causadores de danificações estruturais mais graves.

O recalque absoluto é o rebaixamento de um elemento de fundação, já o recalque diferencial é a diferença entre os recalques absolutos de dois elementos, causando assim uma diferença de nível entre esses elementos, resultando em esforços estruturais não esperados. Esse tipo de recalque ocasiona distorção na estrutura assim provocando trincas e fissuras dependendo da intensidade. (ALONSO, 1991).

O recalque diferencial impõe distorções na estrutura, dependendo da significância e amplitude, poderão ocorrer fissuras na mesma. O recalque diferencial também definido como distorção angular é pode ser calculado pela equação abaixo:

$$\delta = \frac{\text{recalque diferencial}}{\text{dist. entre os elementos}} = \frac{\Delta}{l}$$

Quando todos os elementos da fundação sofrem com o mesmo recalque diferencial absoluto a distorção angular será inexistente.

Os métodos para determinação da distorção angular são complicados por dependerem da heterogeneidade do solo em questão, e de outras várias variáveis.

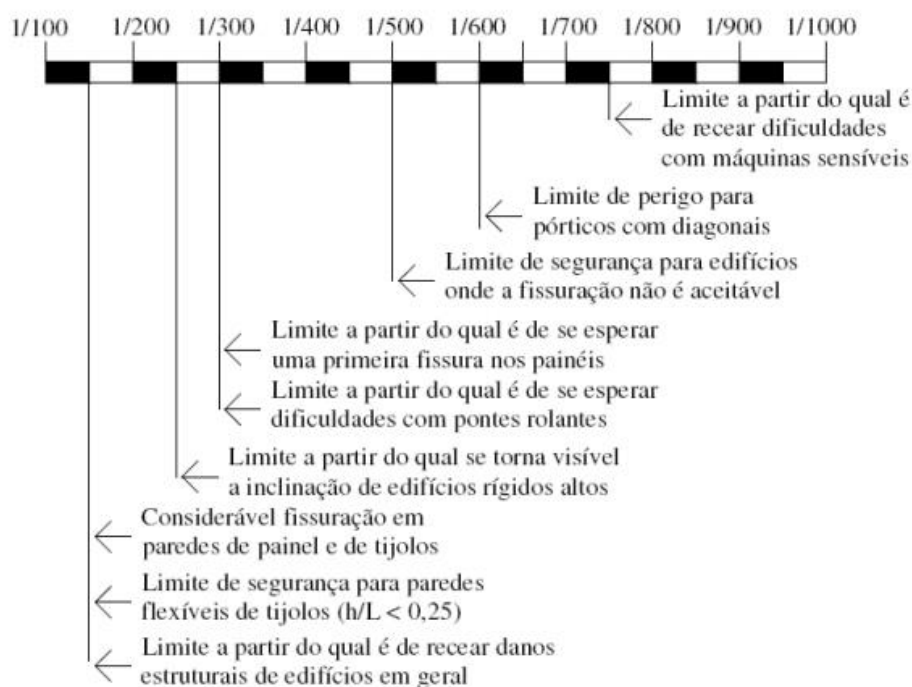
3.4.2 Recalques admissíveis

O estabelecimento de recalques admissíveis é muito complexo por não se tratar apenas de uma análise estrutural como pensam alguns projetistas. Os valores a serem estabelecidos tem como fator determinante a experiência local ao longo de períodos que permitam concluir que um tipo de estrutura com determinados carregamentos e em certo tipo de solo, podem ser considerados aceitáveis e, portanto, admissíveis. (ALONSO, 1991)

O correto aprazamento do recalque admissível só é possível na prática, por meio de monitoramento de recalques de diversas estruturas, incorporando seus valores aos danos observados e, assim, fixando-se os limites de aceitação correspondentes aos efeitos constatados. (PORTO, 2010)

Autores como Bjerrum propuseram limites de distorção angular para vários tipos de obra, baseado no trabalho de Skempton e Mac Donald, publicado em 1956., representado na Figura 6.

Figura 6 Distorções angulares limites.



Fonte: Modificada de Alonso, 1991. p.31.

Deve-se ressaltar que é necessária cautela na utilização desses valores, pois a distorção angular depende de vários fatores como mencionado anteriormente, como características do solo, tipo de elemento estrutural de fundação, porte, rigidez da estrutura e materiais empregados.

3.4.3 Medição de recalque

O controle de recalque de um edifício é a verificação do desempenho global da edificação, permitindo observar o comportamento da interação solo-estrutura do conjunto, sendo uma medida recomendada para qualquer tipo de obra de maior responsabilidade, hoje em dia ainda é muito pouco empregada, tem-se um entendimento equivocado de que só se faz controle de recalque se a estrutura esta com problemas ou possa apresenta-los. (NIYAMA, AOKI e CHAMECKI, 1998)

Porém a NBR 6122 (2010) apresenta a obrigatoriedade da medição de recalque para verificação do desempenho das fundações nos seguintes casos:

- 1) Estruturas nas quais a carga variável é significativa em relação a carga total, tais como silos e reservatórios;

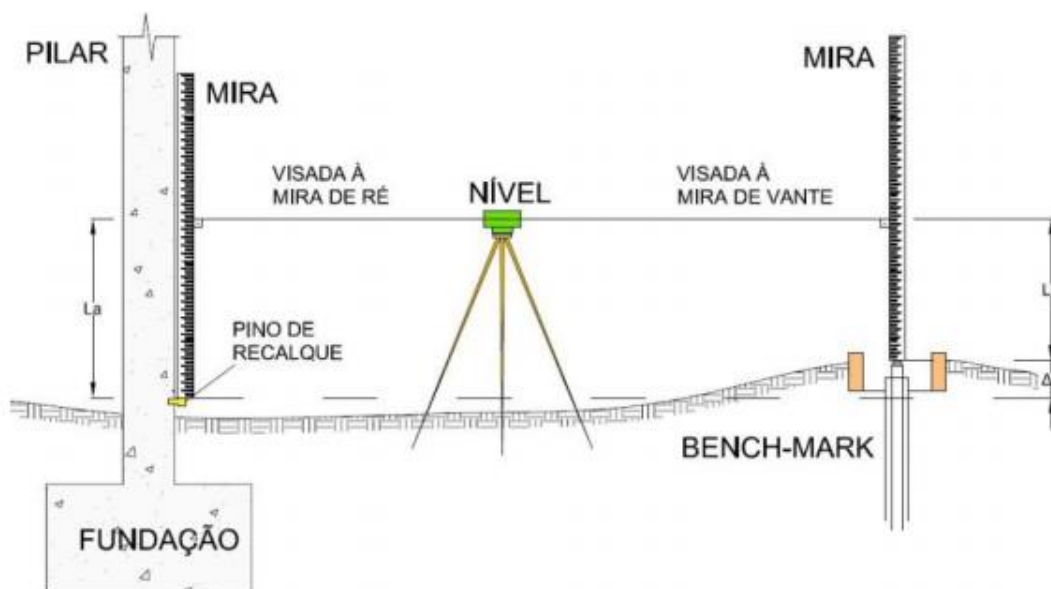
- b) Estruturas com mais de 60 metros de altura do térreo até a laje de cobertura do último piso habitável;
- c) Relação altura/largura (menor dimensão) superior a quatro;
- d) Fundações ou estruturas não convencionais

Pode também ser necessário o monitoramento de outras grandezas, tais como, deslocamentos horizontais, desaprumos, integridade ou tensões sendo o resultado das medições comparado com as previsões de projeto para a verificação do desempenho das fundações.

Mediu-se o recalque por meio de uso de topografia de precisão com emprego de nível ótico no estudo de caso. O método consiste na utilização de nível ótico, benchmark, mira ou régua e pino de recalque. Os parâmetros utilizados para o entendimento desse método serão descritos abaixo:

Figura 7 possui uma representação ilustrativa da medição de recalque por intermédio de nível ótico.

Figura 7 método de medição por meio de nível ótico



Fonte: Aragão, 2011.

O princípio do nivelamento geométrico consiste em determinar em cada leitura as cotas de todos os pinos de referência instalados em peças estruturais da edificação, tendo como referência uma cota fixa (referência de nível) melhor descrita no item 3.4.3.1 fixa indefinidamente ao longo do tempo.

Segundo Mota (2009), os equipamentos utilizados na medição de recalque, por meio de nível ótico, são:

3.4.3.1 Referência de nível profunda ou “*benchmark*”

A referência de nível pode ser profunda ou superficial, porém a superficial é evitado, por causa da sujeita a maiores deslocamentos que acabam sendo imperceptíveis, mas prejudicam as leituras. Relacionado a este fato, foi adotado o tipo profunda na obra em questão.

A NBR 9061 (1985) foi seguida para a realização do procedimento.

O “*benchmark*” Figura 8 consiste em um cano de ferro galvanizado, revestido em outro, instalado em um furo de sondagem, ancorado com calda de cimento em um local de camada estável distante da influência de carregamentos na superfície. Entre os tubos é inserida graxa para que não haja muito atrito entre eles. No tubo interno é colocada uma semiesfera de latão, onde a mira topográfica é apoiada. Utiliza-se epóxi nas junções dos canos por ser resistente e impermeável. (BAHIA, 2013).

A instalação do “*benchmark*” deve ser de modo que ele fique indeslocável em um local que proporcione a melhor vista pretendida, não interferindo na arquitetura nem no canteiro de obra, onde tenha o menor número de circulação de pessoas e tráfego, e que seja devidamente sinalizado para garantir a duração do equipamento durante e após a execução da obra. Sua preservação após a finalização do edifício é de extrema importância para avaliar o desempenho das fundações.

Figura 8 Instrumentação benchmark



Fonte: Autor, 2017

3.4.3.2 Nível ótico

Nível ótico é um equipamento dotado de placa micrométrica ou plano paralela, um nível de bolha circular par o nivelamento da base, luneta e tripé. Esse equipamento deve ser devidamente calibrado para evitar possíveis incertezas quanto as medições.

Figura 9 Nível ótico



Fonte: www.centrogeo.com.br Acessado em: 20/11/2017 20:30

3.4.3.3 Mira ou régua

A régua utilizada na instrumentação para a medição de recalque é do tipo INVAR que são ligas produzidas a base de Níquel e Ferro, que apresentam propriedades de baixo coeficiente de dilatação térmica, tornando a medição mais precisa, devido a

esta não sofrer mudanças devido a temperatura a medição pode ser realizada em qualquer período do dia sem sofrer alterações. A régua graduada, é colocada verticalmente nos pontos a nivelar, devendo ser dotada de nível de bolha fixo ao seu corpo, podendo ser também do tipo cantoneira, possuindo em torno de dois metros.

Figura 10 Mira- régua topográfica

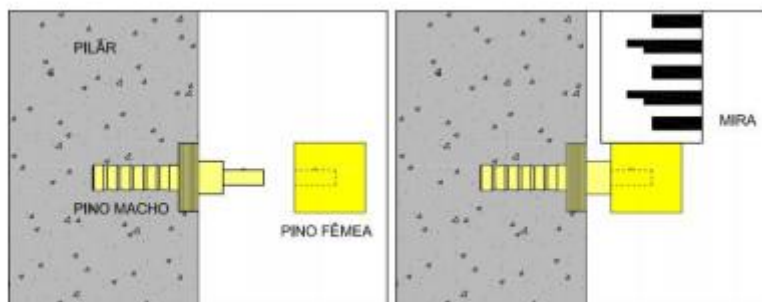


Fonte: www.topografialowcost.wordpress.com / Acessado em 20/11/2017 20:45

3.4.3.4 Pino de recalque

O pino de recalque é composto de dois elementos, o pino fêmea fixado a estrutura em orifícios executado geralmente próximo a base, e o pino macho, removível, que é colocado um em cada obra e depois retirado e guardado para não sofrer danos. São habitualmente confeccionados de latão, soldado em uma estrutura rígida com uma extremidade esférica ao qual a mira é apoiada, permitindo assim observar os deslocamentos por meio de instrumento topográfico de precisão. (BAHIA, 2013)

Figura 11 Pino de recalque



Fonte: Aragão, 2011.

3.5 REFORÇO DE FUNDAÇÃO

Segundo Donadon (2009) os problemas de fundação são antigos, os Romanos já utilizavam reforço de fundações, surgiram no século XIII os primeiros usos mais intensos de reforço na reparação de catedrais, só nos séculos XII e XIII começaram a ser empregados princípios científicos.

Reforço de fundação é um tema muito importante, mas pouco falado dentro dos assuntos de engenharia civil pelo fato de os donos das propriedades e os engenheiros envolvidos não estão interessados na divulgação de problemas em suas obras.

Os problemas nas fundações são descobertos e analisados por meio de ensaios e provas de cargas, que analisam recalques e outras possíveis patologias relacionadas as fundações, para que possam ser tomadas as devidas providências a fim de reabilitar a construção em questão.

Reforçar uma fundação representa uma intervenção no sistema solo/fundação/estrutura existente, objetiva modificar seu desempenho, de modo que ela volte a garantir estabilidade e funcionalidade mínimas necessárias que determinada obra exige. (BERBERIAN, 1999).

3.5.1 Causas do reforço

Gusmão (2016) Foca em três principais tipos de causas para o reforço de fundação, são elas: mau desempenho da fundação, alteração do carregamento da estrutura, e alteração do tipo de uso da estrutura.

- O Mau desempenho da fundação: o mau desempenho da fundação se dá pelo de que não foram feitas as investigações necessárias e sondagens insuficientes principalmente em áreas extensas. Mas pode decorrer de casos especiais, de difícil identificação, como influência de vegetação, presença de solos colapsíveis ou expansivo, presença de matacões ou regiões de mineração, assim conseqüentemente a fundação pode apresentar movimentação e patologias devido a recalques localizados. (Milititsky, Consoli, & Schnaid, 2015).

- Alteração do carregamento da estrutura: casos de ampliação vertical da obra podem ocasionar este tipo de problema, assim ocorrendo mudanças que não estão descritas em projeto, tendo que necessariamente fazer uma análise para que a estrutura não seja danificada.
- Alteração do tipo de uso da estrutura: um caso muito comum é a alteração da usualidade da edificação, fazendo com que esta, suporte cargas que não foram previstas.

3.5.2 Concepção de reforço

As seguintes concepções de reforço estabelecidas por Gotlied (1998), são eles: permanente, provisório, substituição da fundação e escoramentos auxiliares.

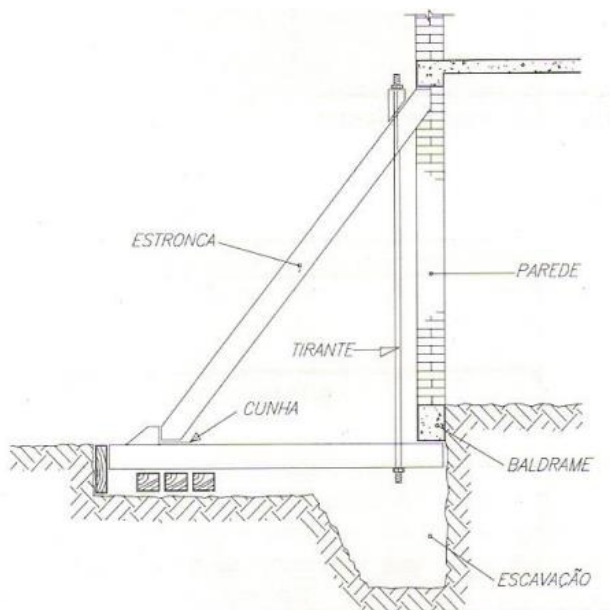
O reforço permanente é necessário quando ocorre o mau desempenho das fundações originais, intervindo diretamente na fundação existente. Este tipo pode ser em virtude ao carregamento aplicado às fundações em função de ampliações ou modificações na utilização da construção.

O reforço provisório é crucial quando ocorre condição especial ou transitória de carregamento de curta duração, ou para permitir que sejam efetuados serviços de reforços, assim é realizado um reforço temporário para que a fundação aguente tais solicitações nesse determinado período.

Um reforço substitutivo não se trata da modificação das peças existentes originalmente, é a substituição total de uma fundação danificada por outra integra, não necessariamente precisando ser do mesmo tipo da fundação original.

Já os escoramentos auxiliares servem para redução total ou parcial do carregamento para realização de trabalhos de reforço, ou substituição das peças de fundação.

Figura 12 Escoramento provisório



Fonte: Gottlieb, 1998.

3.5.3 Tipos de reforço

São vários os tipos de reforço empregado no campo da engenharia civil, eles podem ter como objetivo o melhoramento do solo para que este não recalque mais, ou a troca ou substituição das fundações problemáticas. Abaixo são apresentados alguns métodos e tipos para se reforçar uma edificação.

3.5.3.1 Reparo ou reforço dos materiais

Quando há degradação dos materiais existentes na fundação é necessário reparação ou reforço dos materiais inseridos na fundação, exemplos que fazem com que esse tipo de reforço seja necessário são a degradação do concreto, corrosão das armaduras, tratando-se de um problema estrutural, não associado a transferência de carga para o solo.

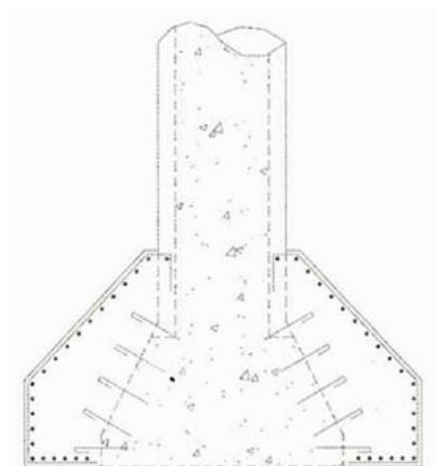
3.5.3.2 Enrijecimento da estrutura

O enrijecimento estrutural é uma solução para minimizar os recalques diferenciais. Esse enrijecimento pode ser alcançado por meio da implantação de vigas de rigidez, ou por peças capazes de gerar travamento na estrutura.

3.5.3.3 Aumento da área de apoio

O aumento da área de apoio se aplica para fundações do tipo Sapata ou Tubulão, onde a transferência de carga para o solo se dá pela superfície horizontal apoiada no solo. Esse método é utilizado quando há aumento das cargas originais, ou quando um valor errado de tensão admissível do solo é adotado. É realizado um aumento da base por meio de enxerto, caracterizado pelo chumbamento de ferragens na peça existente. Devendo-se garantir uma perfeita aderência entre a área existente e a área ampliada.

Figura 13 Aumento da área de base de Tubulão

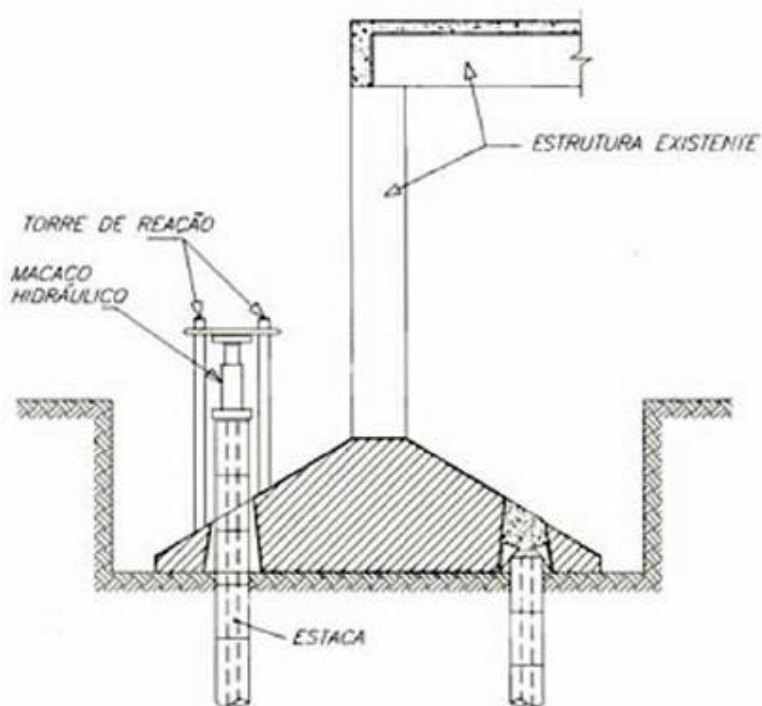


Fonte: Gotlied, 1998.

3.5.3.4 Estacas prensadas (“Mega”)

Constitui-se de elementos superpostos que podem ser de concreto ou de perfil metálico constituídas de segmentos da ordem de 1 metro conforme as condições locais, são cravadas por meio de macaco hidráulico necessitando de um sistema de reação externo ou da própria estrutura. É um tipo de reforço bem conveniente para ser usado em locais limitados pela pouca necessidade de espaço para ser executado. A segurança da obra é aumentada instantaneamente após a instalação de cada estaca. Os segmentos costumam ser vazados para que ao final da cravação possam ser colocadas barras de aço, assim o furo é preenchido de concreto para que haja uma continuidade entre os segmentos.

Figura 14 Reação contra a estrutura existente



Fonte: Gottlieb, 1998.

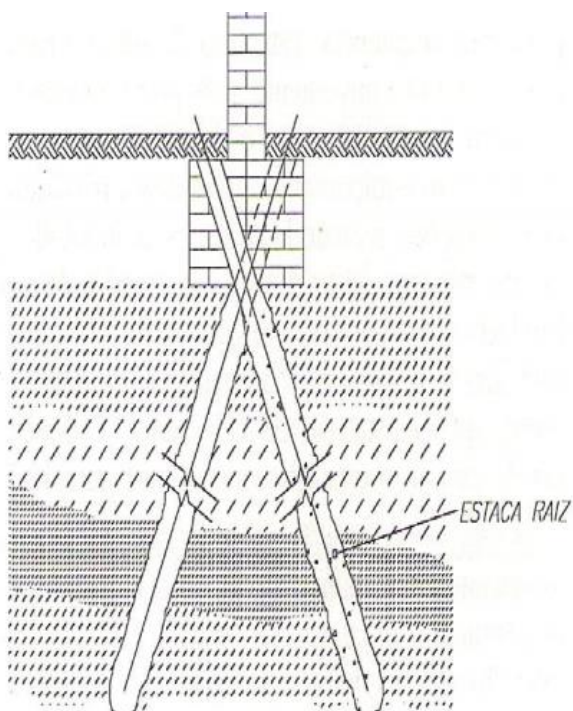
3.5.3.5 Estaca Raiz

O reforço também pode ser realizado por meio da introdução de estaca Raiz, também conhecidas como estacas injetadas, microestacas e pressoancoragens. São executadas por meio de perfuração com circulação de água e/ou lama betonítica, o processo de execução está descrito no item 3.3.1.

Os equipamentos de perfuração da estaca Raiz se caracterizam por serem de pequenas dimensões, permitindo acesso a locais com o pé-direito baixo, por exemplo, subsolos, além de não ocasionarem vibrações durante a execução, um fator que pode influenciar na desestabilização da obra. Deve-se atentar-se a circulação de água que pode desestabilizar ainda mais a fundação.

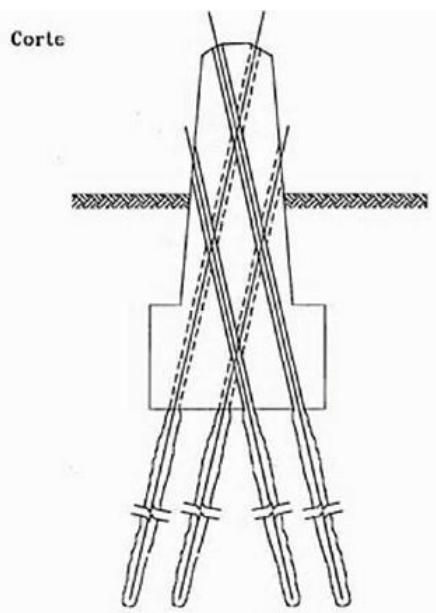
A posição das estacas no reforço pode variar de acordo com a obra. As estacas podem ser instaladas na posição vertical ao lado das peças a serem reforçadas ou inclinadas como na Figura 15 perfurando as sapatas ou blocos de coroamento. (GOTTLIEB, 1998).

Figura 15 Reforço com estaca Raiz inclinada



Fonte: Gotlied, 1998.

Figura 16 Corte de reforço com estaca Raiz



Fonte: Gotlied, 1998.

3.5.3.6 Estacas convencionais

As estacas convencionais também são utilizadas como reforço de fundações, elas podem ser de concreto armado, protendido, porém só são utilizadas quando há altura suficiente para a instalação de um bate estacas, é muito comum em obras que ainda estão na fase de execução das fundações. A estaca tipo Strauss também pode ser considerada pois o equipamento consegue ser instalado.

3.5.3.7 Melhoramento do solo

Outro modo de reestruturar a fundação é proporcionar a melhoria do solo, assim são necessários métodos que permitam melhorar as características de resistência e compressibilidade do maciço de apoio das fundações. Injeção de nata de cimento, Jet-grouting.

Podem ser realizadas também reações de apoios adicionais que visam reduzir os carregamentos atuantes nas fundações originais. É necessário atenção em relação a deformabilidade entre as fundações de apoio novas e antigas para que não ocorram problemas de recalque diferencial.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA OBRA E DO SUBSOLO

A obra estudada consiste em um empreendimento de um complexo residencial, com área de lazer, localizada na no entorno do Distrito Federal, o empreendimento consiste em quatro torres, com diferentes alturas, tendo as torres 16,18, 20 e 22 pavimentos, todas com 02 subsolos e uma cobertura, totalizando aproximadamente 231616,12 metros quadrado de área construída.

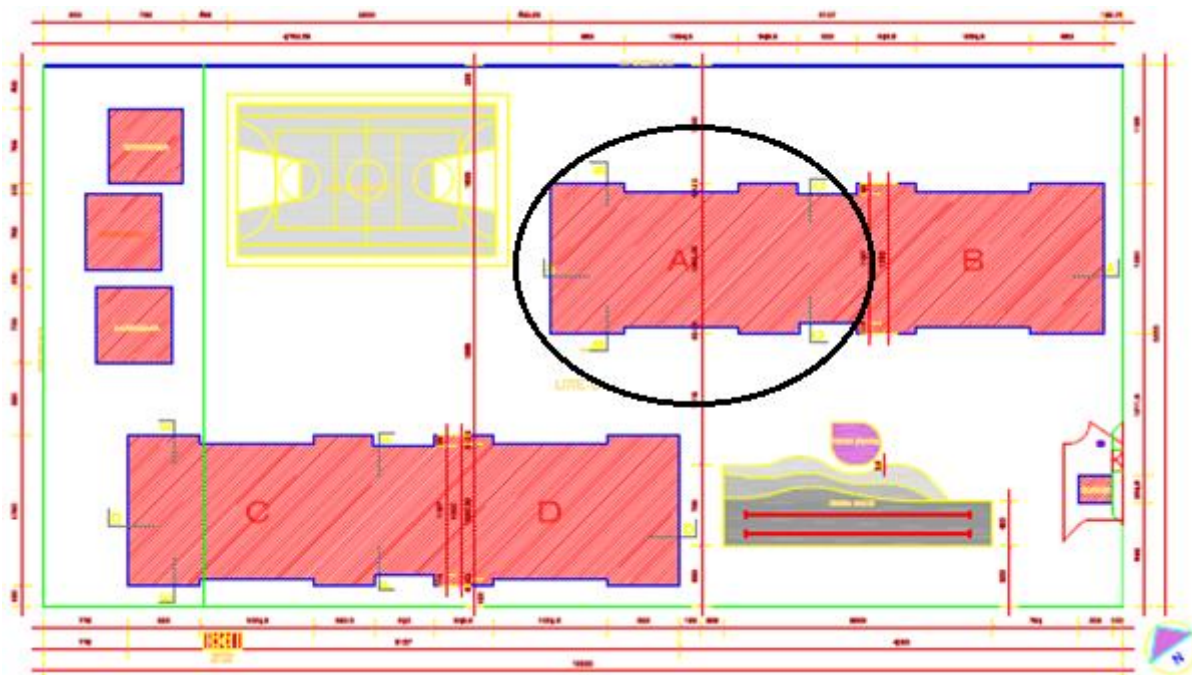
Figura 17 Mapa de localização



Fonte: Adaptado de Google Earth.

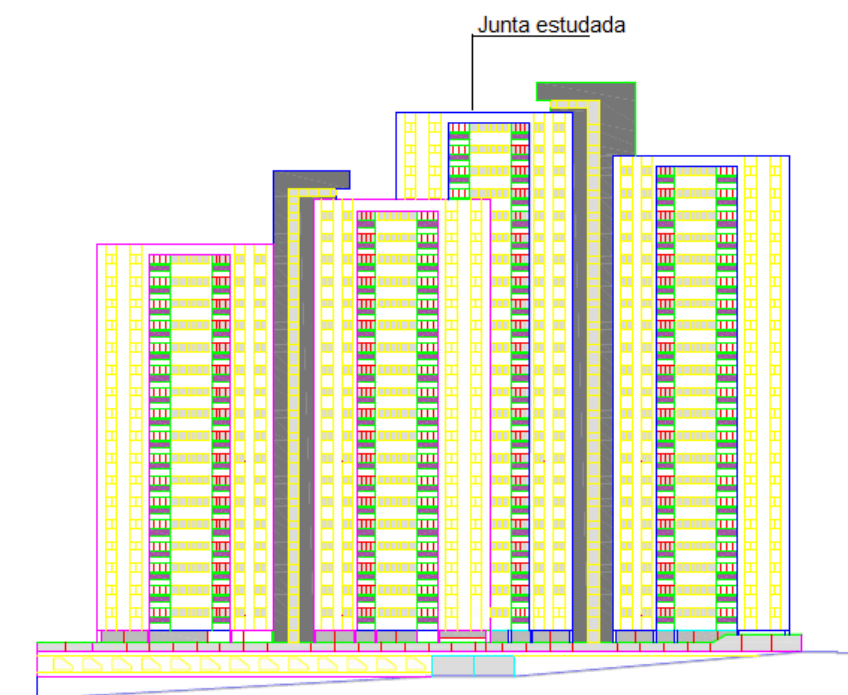
O trabalho trata-se da torre com 22 pavimentos com 14785,76 metros de área construída. O estudo trata-se da fundação implantada na junta A, demarcada nas Figura 18 e Figura 19.

Figura 18 Planta de situação



Fonte: Autor, 2017.

Figura 19 Vista Frontal



Fonte: Autor, 2017.

O edifício, Figura 20 encontra-se em um bairro residencial, em suas proximidades encontram-se comércios locais e edificações de caráter residencial.

Figura 20 Edifício analisado



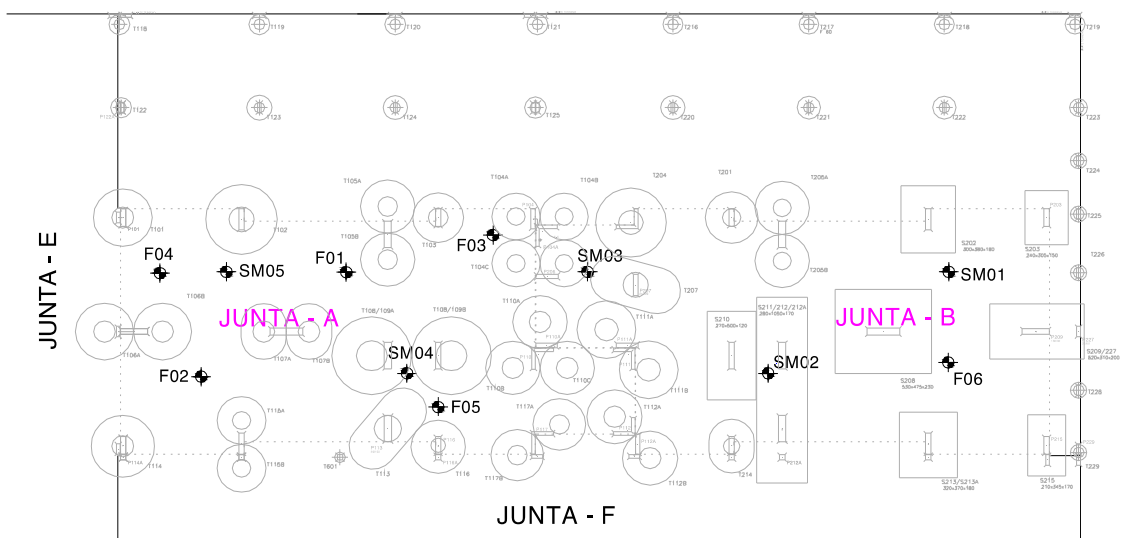
Fonte: Próprio Autor

A obra iniciou-se no ano de 2012 e encontra-se pronta desde o ano de 2014. Foram realizadas medições de recalque desde o início das concretagens das primeiras lajes. Foram realizados também ensaios de SPT e sondagem de reconhecimento mista, porém não foram realizadas provas de carga durante a obra.

A edificação possui 24 lajes do tipo maciça e 36 pilares em concreto armado, com piso em revestimento cerâmico esmaltado, fechamento em alvenaria de tijolo cerâmico, revestimentos internos e externos contendo pintura látex e PVA, granito, tijolo de vidro e cerâmica, o teto possui forro de gesso com pintura PVA, forro de madeira e pintura óleo.

O projeto de fundações da junta A Figura 21 foi realizado em tubulões, cada um dimensionado para suportar tensão admissível $\sigma_{adm} = 7 \text{ kgf/cm}^2$, com CAF (cota de assentamento da fundação) de 4 metros em projeto, e a junta B em Sapatas com $\sigma_{adm} = 7 \text{ kgf/cm}^2$.

Figura 21 Projeto de fundação das juntas A e B



Fonte: Autor, 2017

4.1.1 Investigação Geotécnia

A investigação geotécnica foi realizada anteriormente e durante a execução da obra como mostrado na Figura 22, foram realizados dois tipos de ensaios, sondagem SPT e sondagem de reconhecimento mista.

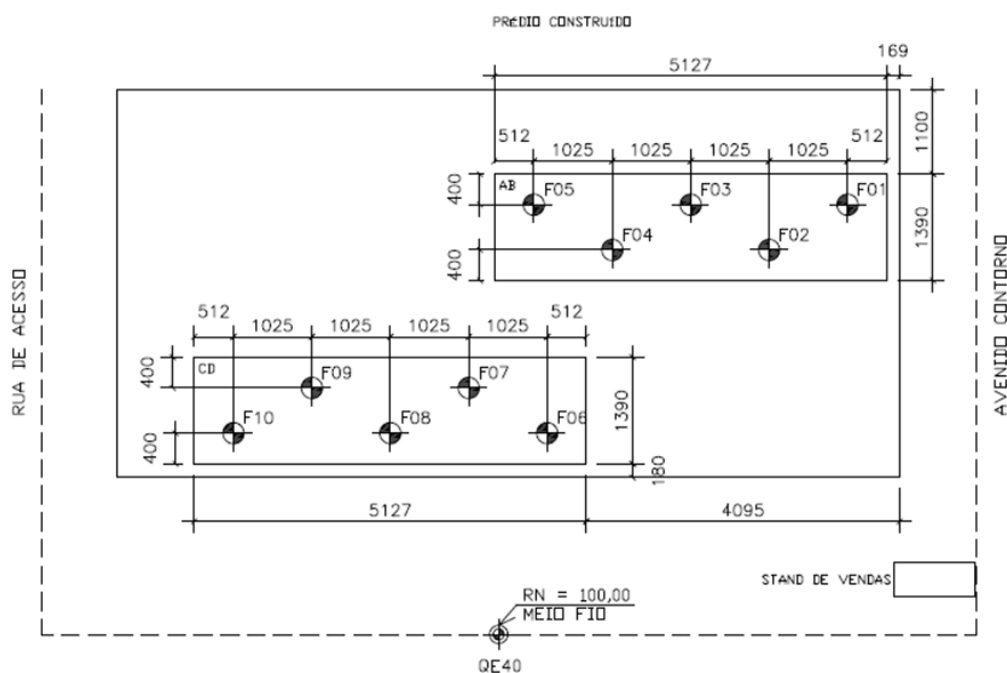
Figura 22 Vista de execução das sondagens



Fonte: Autor, 2010.

Foram realizadas 10 sondagens mistas em toda a obra, Figura 23, no mês de outubro de 2010, sendo as sondagens F04 e F05 referentes à junta de estudo “A”, as sondagens possuíam limitação em 15 metros, foram identificados nível d’água em 8,9m e uma camada de areia argilosa próxima a cinco metros de profundidade. Em 04/04/2013 fora realizado uma nova sondagem mista, onde contatou-se que o solo em questão se aproximava das sondagens feitas anteriormente.

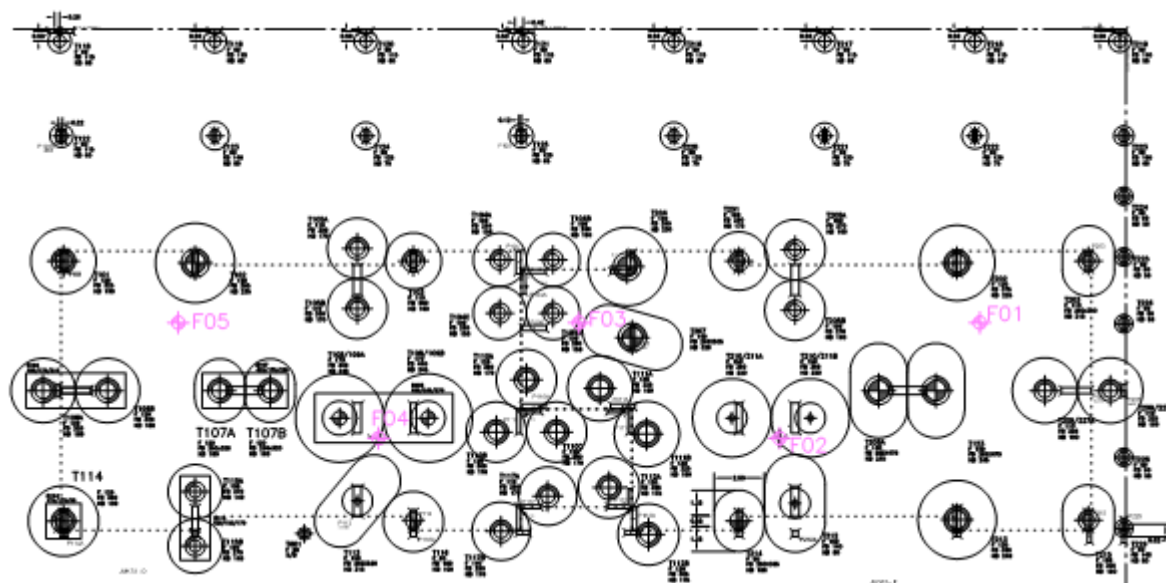
Figura 23 Locação Sondagem Mista 2010



Fonte: Próprio Autor

Estabelecendo prescrições da NBR 8036 (ABNT, 1983), onde o número de sondagens SPT deve ser o suficiente para fornecer a provável variação das camadas do subsolo, foram realizadas 5 destas sondagens na Junta “A”, realizados no mês de julho de 2010.

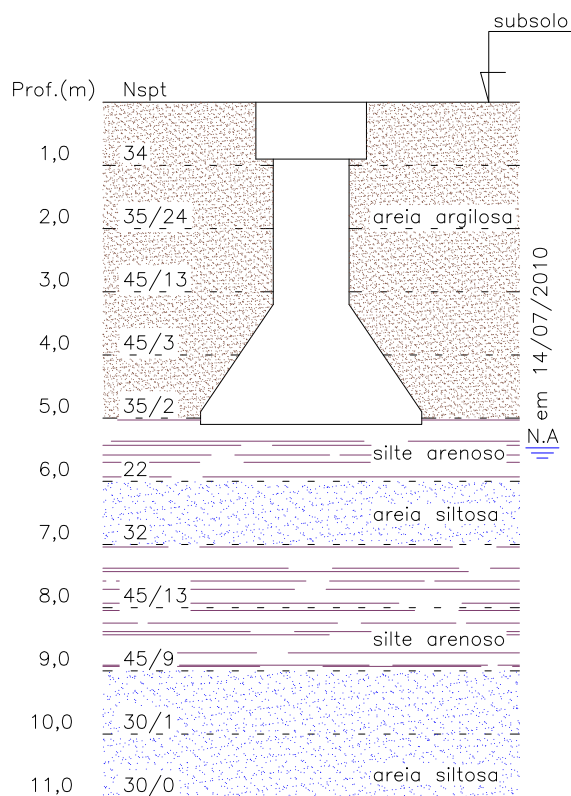
Figura 24 Projeto de fundação Junta A



Fonte: Próprio autor.

A partir da realização dos furos e dos laudos obtidos por meio deles foi possível elaborar um protótipo de representação do tipo de solo em que a fundação foi inserida, Figura 25. Pode-se observar que o solo presente na fundação é composto de areia argilosa, onde o tubulão tem sua base assentada em silte arenoso, além disso, foi verificado proximidade da fundação com o nível d'água. Observa-se também que a CAF dos tubulões foi executada a 5 metros, diferente da CAF de projeto, sendo que esta foi prevista em 4 metros.

Figura 25 Estratigrafia do solo



Fonte: Próprio autor.

A base do tubulão em questão encontra-se próxima ao nível de água o que pode acarretar grandes problemas devido a flutuação do lençol freático, uma hipótese é que esse tubulão tenha ficado aberto e que provavelmente isso tenha ocorrido. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostra uma ilustração do SPT realizado 14/07/2010, anteriormente ao início da execução da obra onde observa-se que a fundação está instalada em solo de silte arenoso com $N_{spt} = 22$ na profundidade de 6 metros, sendo este um valor admissível para o projeto, porém a proximidade com o nível d'água insere dificuldades na instalação do mesmo, assim a atenção necessita de desdobramento.

4.2 ANÁLISE DE DESEMPENHO DAS FUNDAÇÕES

4.2.1 Medição de recalque durante a execução da obra

Como prescrito na NBR 6122 (2010) foi realizado o controle de recalques da edificação. Foi contratada uma empresa “A” especializada em geotecnia para a execução do procedimento de monitoramento de recalques.

O acompanhamento de recalque foi realizado entre o período de 15/08/2012 a 12/06/2017, na Junta A do empreendimento, Para realização das medições de recalque foram utilizados níveis óticos, dotados de placa plano paralela utilizado para nivelar os pinos engastados nos pilares da edificação, tomando-se como base uma referência de nível profunda, ou “benchmark” e uma mira graduada em chapa de invar, tendo como objetivo medir os deslocamentos verticais da estrutura pela diferença de posição entre as leituras consecutivas. Os pontos instrumentados foram definidos de acordo com as condições de acesso na obra e ouvida a opinião do projetista e engenheiro responsável pela execução.

As medições de recalque tiveram início em 76 dias após o início da obra no dia 30 de outubro de 2012, medidas constantemente, contabilizando um total de 31 medições, realizadas na obra até hoje, a 31ª medição ocorreu contabilizando-se 1762 dias.

Mediante a coleta dos dados foram geradas planilhas para a organização das medições, na qual foram feitos os cálculos das cotas em relação a referência de nível profunda, considerada cota zero.

Baseando nesses dados foram calculados recalques totais, parciais, e velocidade de recalque ao longo das medições. Sendo a velocidade de recalque calculada pela expressão:

$$V = \frac{\text{recalque}}{\text{tempo}} (\mu\text{mm})$$

Os pinos não foram instalados em todos os pilares da obra, visando um menor custo no procedimento, apesar da importância da medição de recalques em todos os

pilares da obra, esse procedimento pode ser realizado em apenas alguns pilares em específico e por meio destes obtêm-se uma base do que ocorre nos demais que não estão sendo medidos.

Após a observação de problemas em dois pilares, visando a maior segurança no controle de recalques o contratante decidiu pela contratação de uma segunda empresa “B”, apenas para uma análise comparativa, para que o monitoramento de recalque fosse realizado simultaneamente entre empresas “A” e “B” para minoração de erros.

4.2.2 Conformidade de projeto de fundação

A conformidade de projeto é fundamental para que problemas sejam descobertos antes da execução. Essa análise deve ser feita anteriormente a construção da edificação, porém em muitos casos não é realizado um estudo preciso da conformidade de projeto.

Na obra em questão não foram feitas análises anteriores a construção, após o estudo de recalques viu-se a necessidade da análise de projeto, pois, alguns pilares em específico apresentaram recalques excessivos comparados ao demais.

Foram realizados os levantamentos de carga progressiva durante a execução da obra, medidos juntamente com os recalques para realização de um comparativo das cargas de projeto e cargas medidas na obra.

Feito um comparativo de cargas atuantes e de cargas de projeto verificou-se que as cargas medidas durante a obra em alguns pilares apresentavam-se superior a dimensionada para os tubulões em questão.

4.2.3 Reforço de fundação

A empresa “A” responsável contratada inicialmente decidiu optar por realizar reforço na fundação para estabilização da obra. O reforço implantado foi do tipo substitutivo e permanente, no qual toda fundação existente na obra foi substituída por

outro tipo, este em Estaca Raiz tornando assim este permanente na obra em questão, suportando toda a carga da edificação.

Devido aos recalques distorcionais, inicialmente foi necessário a realização de injeção de calda de cimento a 500 micrômetros na base dos tubulões por precaução a desestabilização da obra, melhorando o solo abaixo dos tubulões para que estes não recalçassem em níveis excessivos, assim diminuindo riscos para a introdução das estacas.

5 ANÁLISE DE RESULTADOS

O presente trabalho consistiu em analisar a necessidade da reintegração da fundação de uma edificação residencial, no qual foram analisadas as possíveis causas por meio de sondagens e medições de recalque que serão apresentados abaixo.

O estudo contempla as análises de controle de recalque antes do reforço, o estudo da conformidade de projeto, descreve o reforço utilizado e seu projeto, e posteriormente uma análise após a introdução do reforço de controle de recalques e suas velocidades.

5.1 CONTROLE DE RECALQUE ANTES DO REFORÇO

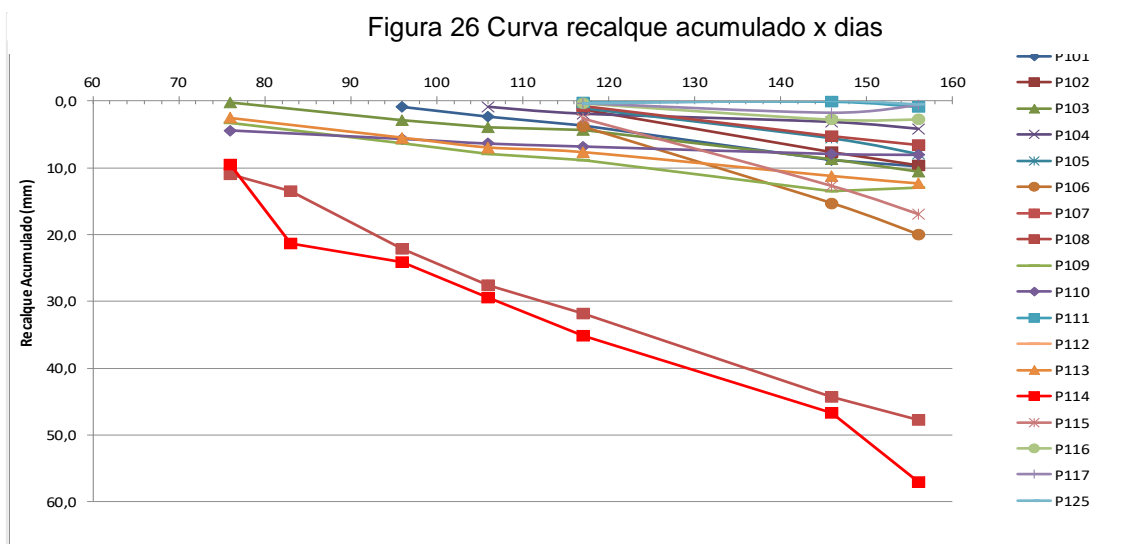
O nivelamento para o controle de recalque foi realizado na quinta laje no dia 15/08/2012, a partir desse ponto começaram-se as medições, o que não é o recomendado, seria ideal que as medições comesçassem juntamente com as primeiras aplicações de carga, mas por meios burocráticos esse processo torna-se mais demorado.

A tabela 2 mostra as 5 primeiras medições de recalque realizadas, onde foi feita uma releitura da primeira medição por motivos de segurança, as leituras foram realizadas em 76, 83, 96, 106, 117 e 146 dias, onde pode se analisar uma faixa de recalque diferentes nos pilares P107 e P114, esses se mostraram divergentes entre os demais da junta A.

Tabela 2 Recalques acumulados

Pilares	15/8/12	30/10/12	6/11/12	19/11/12	29/11/12	10/12/12	8/1/13
	Data	Data	Data	Data	Data	Data	Data
	0	76	83	96	106	117	146
	Niv	1ª Med	1ª Med releitura	2ª Med	3ª Med	4ª Med	5ª Med
	Recalque (mm)	Recalque (mm)	Recalque (mm)	Recalque (mm)	Recalque (mm)	Recalque (mm)	Recalque (mm)
P101		0,00	-	0,94	2,36	3,62	8,83
P102					0,00	1,23	7,71
P103	0	0,24	-	2,83	3,94	4,38	8,69
P104				0,00	0,86	1,88	3,12
P105					0,00	1,07	5,59
P106					0,00	3,82	15,30
P107	0	10,98	13,47	22,16	27,53	31,82	44,30
P107A					0,00	4,91	17,48
P108					0,00	0,69	5,22
P109	0	3,23	-	6,30	7,90	8,86	13,47
P110	0	4,40	-	5,67	6,37	6,81	7,92
P111					0,00	0,17	0,11
P112							
P113	0	2,53	-	5,48	6,95	7,65	11,22
P114	0	9,47	21,29	24,18	29,39	35,14	46,75
P114A					0,00	5,49	16,88
P115					0,00	2,62	12,72
P116					0,00	0,36	2,80
P117					0,00	0,32	1,74
P125					0	0,36	-0,04

Fonte: Autor, 2017.



Fonte: Autor, 2017.

Com os dados da Tabela 2 Recalques acumulados foi possível criar a curva de recalques acumulados em relação aos dias decorrentes da obra, mostrando a real situação dos recalques dos pilares nas primeiras seis medições que totalizam 160 dias

de obra. Houve um avanço significativo de recalque dos pilares P107 e P114 comprovando um distanciamento destes entre os demais.

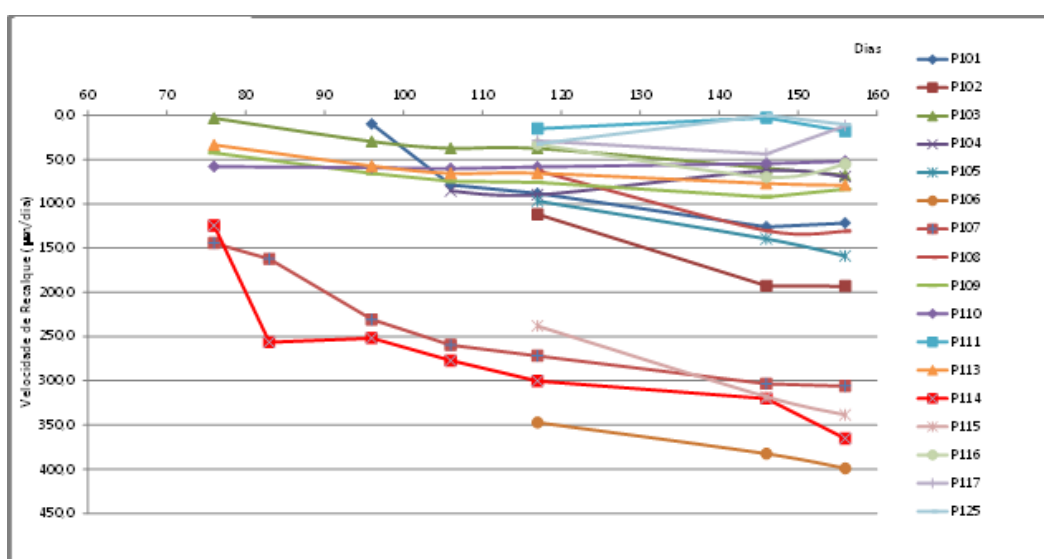
A análise foi feita também em relação a velocidade de recalque, onde pode-se verificar na tabela 3 que relaciona a velocidade de recalque durante o dia o desequilíbrio entre as velocidades dos pilares p 107 e P 114. A velocidade de recalque é evidentemente maior nesses dois pilares.

Tabela 3 Velocidade de recalque

Pilares	30/10/12	6/11/12	19/11/12	29/11/12	10/12/12	8/1/13
	Data	Data	Data	Data	Data	Data
	76	83	96	106	117	146
	1ª Med	1ª Med releitura	2ª Med	3ª Med	4ª Med	5ª Med
Vel (µm/dia)	Vel (µm/dia)	Vel (µm/dia)	Vel (µm/dia)	Vel (µm/dia)	Vel (µm/dia)	
P101			9,79	78,67	88,29	126,07
P102					111,82	192,63
P103	3,22	-	29,48	37,22	37,39	59,55
P104				85,50	89,76	62,50
P105					96,82	139,63
P106					347,27	382,50
P107	144,54	162,29	230,83	259,72	271,92	303,42
P107A					445,91	437,00
P108					62,73	130,38
P109	42,5	-	65,63	74,53	75,68	92,26
P110	57,89	-	59,06	60,09	58,21	54,28
P111					15,00	2,63
P112				0,000	0,000	0,00
P113	33,36	-	57,08	65,57	65,38	76,88
P114	124,67	256,51	251,82	277,22	300,34	320,21
P114A					499,55	422,12
P115					238,18	318,12
P116					32,73	69,88
P117					28,64	43,62
P125					32,27	0,00

Fonte: Autor, 2017.

Figura 27 Curva velocidade de recalque x dias

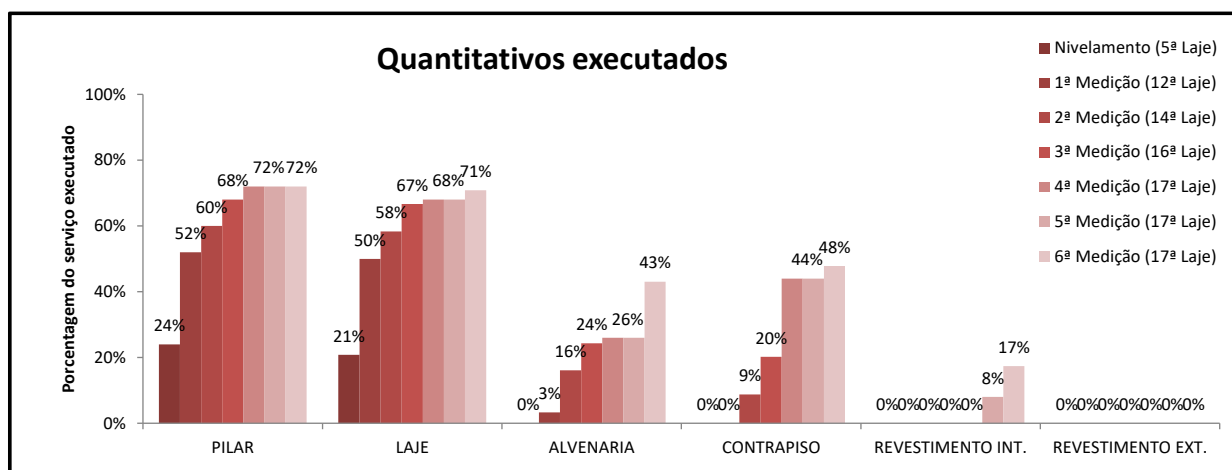


Fonte: Autor, 2017.

Como na medição de recalque acumulados a velocidade de recalque também teve sua primeira medição repetida. A Figura 26 representa as velocidades de recalque de cada pilar analisado, podemos ver um comparativo em relação entre a velocidade e os dias decorridos na obra. O destaque se encontra justamente nos pilares P107 e P114 observados anteriormente em situação desigual aos demais. **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Pode-se verificar na Figura 28 os acréscimos de cargas que foram realizados por meio dos quantitativos dos serviços executados até a data da 6ª medição de recalque. Os levantamentos foram realizados *in locu* nas mesmas datas das medições de recalque.

Figura 28 Quantitativos executados em relação às medições de recalque



Fonte: Autor, 2017.

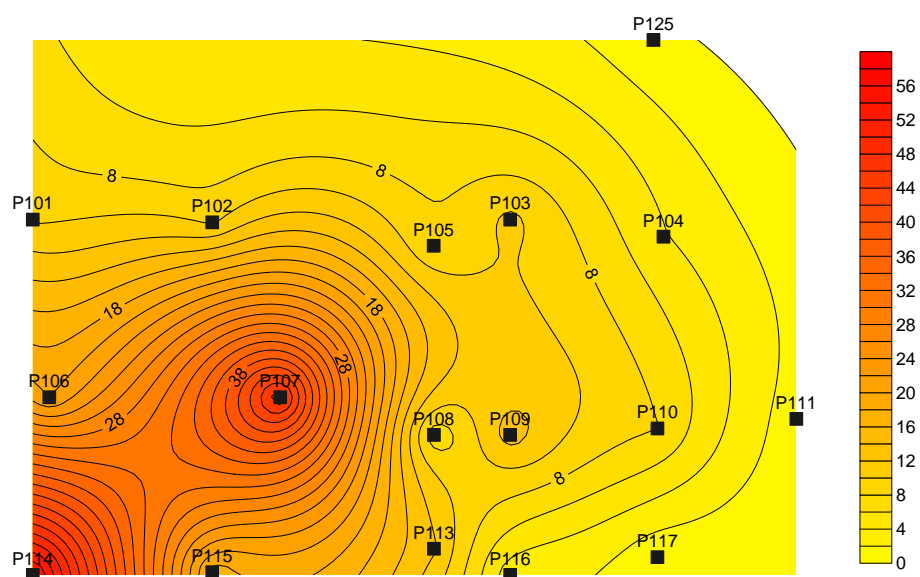
Ao longo das medições verifica-se que a quantidade de serviços realizados equivalia a 42% da carga total da obra na 17ª laje, segundo a Tabela 2 pode-se evidenciar um recalque maior do que o esperado nos pilares P107 e P114. O que nos direciona a uma adversidade existente. Um problema de recalque diferencial por causa do rebaixamento de pontos precisos na estrutura.

O cálculo da porcentagem foi realizado considerando 40% de carga estrutural, incluindo pilares e lajes, 20% alvenaria, 7,5% revestimento interno, 7,5% revestimento

externo e 10% contrapiso totalizando um total de 85% de peso da edificação, os outros 15% são relacionados a habitação do edifício, como pessoas, moveis etc.

A criação de curvas de iso-recalque por meio do software *Surfer* permite que tenha-se o recalque dos pilares em distribuição espacial representada em curvas de níveis.

Figura 29 Curva iso-recalque



Fonte: Autor, 2017.



A Figura 29 mostra os pilares P106 e P114 apresentando-se em cota inferior aos demais, estando assim mais recalcados. A partir da curva de iso-recalque pode-se estimar os maiores recalques distorcionais em relação ao resto da estrutura. Baseado nos valores de distorção angular limite foi verificado que 33% das análises esteve superior a $1/500$ que representa limite de segurança para edificações onde a fissuração não é aceitável. Foram verificadas as duas maiores distorções angulares apresentadas no pilar P107, uma de $1/163$ e outra de $1/167$ podendo representar apenas pequenas fissurações em painéis e paredes.

5.2 CONFORMIDADE DE PROJETO

Após as verificações de recalques excessivos encontrados em alguns pilares da fundação, decidiu-se verificar se havia conformidade de projeto. Analisando as tensões máximas que chegavam a cada pilar foi possível montar a Tabela 4 para o melhor entendimento. O pilar 107 apresentou uma carga 1584 tf, sendo o pilar mais carregado da obra.

Tabela 4 Tensões máximas dos pilares

Pilar	φ fuste (cm)	φ base (cm)	Tensão máx. (kgf/cm²)
P101/101a	120	325	6.09
P102	140	395	5.54
P103	110	280	7.26
P104/104a/206	100	260	7.68
P105	110	300	7.72
P106	120	320	6.71
P107	120	250x320	12.13
P108/109	170	440	6.72
P110/110a	120	300	6.74
P111/111a	130	325	7.13
P112/112a/112b	120	305	7.42
P113	150	260x520	7.82
P114/114a/114b	120	350	5.26
P115/115a	100	270	6.59
P116/116a	80	180	14.47
P117/117a	110	290	7.19

 valor de tensão de projeto até (acima 173%)
 valor de tensão de projeto até (12%)

Fonte: Autor, 2017.

Na Tabela 4 podemos verificar os diâmetros do fuste e base e as tensões atuantes em cada um dos pilares da junta A. Como determinado em projeto os Tubulões foram dimensionados para uma $\sigma_{adm} = 7 \text{ kgf/cm}^2$, porém os pilares P107 e P116/116a possuem um valor de 173% acima do determinado em projeto. Outros pilares também apresentaram tensões maiores do que a pré-determinada em projeto, os pilares

P103, P104/104a/206, P105, P111/111a, P112/112a/112b, P113, e P117/117a foram verificados com acréscimos de 12% além do valor previsto.

Assim foi identificada a não conformidade de projeto referente as cargas atuantes em cada pilar. Fazendo uma análise mais profunda da situação foi verificado que faltaram dois tubulões abaixo do pilar P107 e P114 o que ocasionou o recalque excessivo nessas áreas.

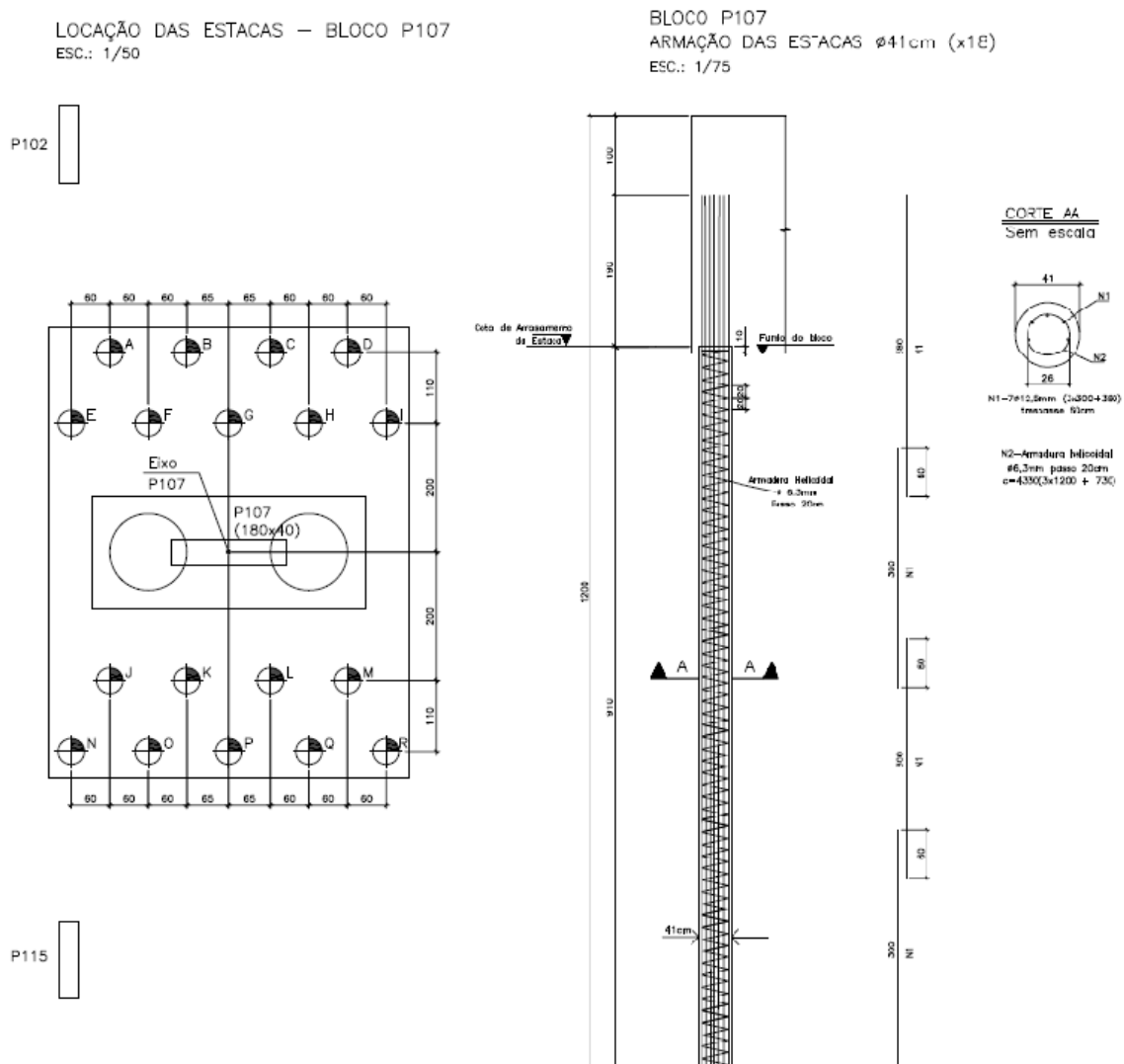
5.3 REFORÇO DE FUNDAÇÃO EXECUTADO

Viu-se a necessidade de introdução de reforço de fundação na obra em questão pelos recalques excessivos observados no controle de recalque realizado. O reforço foi introduzido no final de 2012, inicialmente foi realizada injeção de calda de cimento na base dos tubulões para melhorar o solo em questão.

A empresa contratada para execução do reforço da fundação optou por um reforço em estaca raiz, pela necessidade de agilidade e rapidez. Não seria possível outras soluções pois precisavam de equipamentos trazidos de outras regiões. Solução mais viável tanto técnica quanto economicamente.

Foram introduzidas 72 estacas, com diferentes profundidades na junta A. Os blocos foram realizados de acordo com o local. Os projetos dos blocos e estacas implantados na obra apresentam-se abaixo:

Figura 30 Bloco P107

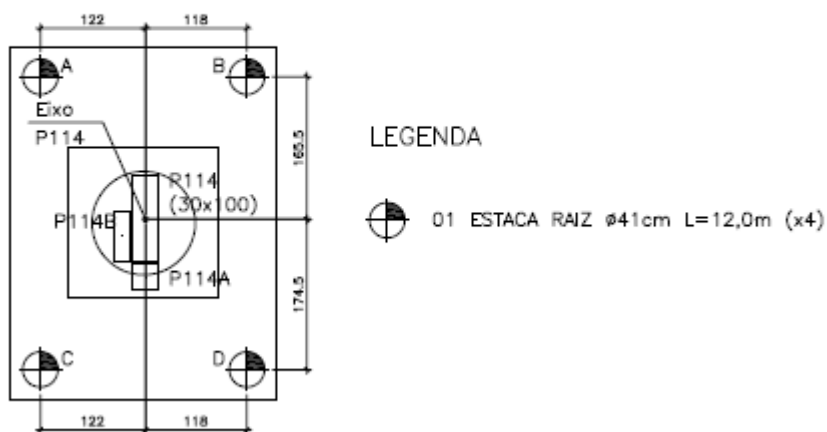


Fonte: Autor, 2017

O pilar P107 como possuente do maior carregamento da obra, necessitou da introdução de um bloco com 18 estacas de $\varnothing=41\text{cm}$ e 12 metros de comprimento Figura 30.

Figura 31 Bloco P114/114A/114B

LOCAÇÃO DAS ESTACAS – BLOCO P114/114A/114B
ESC.: 1/50

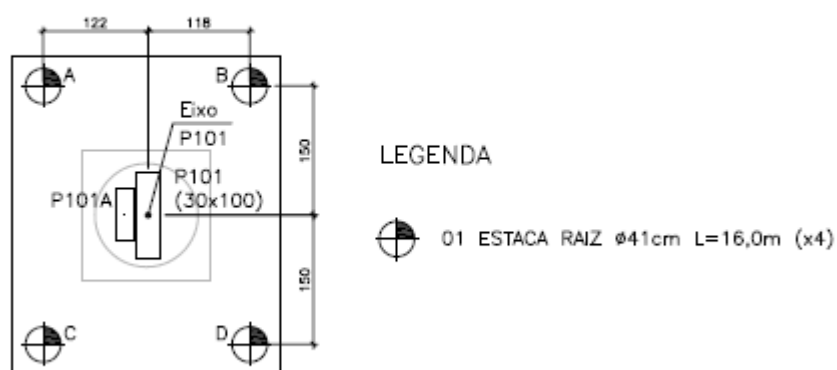


Fonte: Autor, 2017

A Figura 31 apresenta o bloco contendo os pilares P114/114A/114B, onde foram realizada 4 estacas apresentando $\varnothing=41$ cm e 12 metros de comprimento.

Figura 32 Bloco P101/101A

LOCAÇÃO DAS ESTACAS – BLOCO P101/101A
ESC.: 1/50

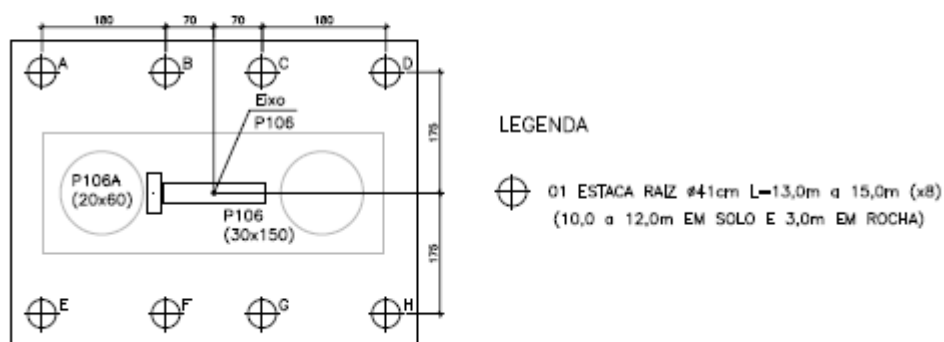


Fonte: Autor, 2017

A Figura 32 apresenta o bloco dos pilares P101/101^a com 4 estacas de $\varnothing=41$ cm e 16 metros de comprimento.

Figura 33 Bloco P106/106A

LOCAÇÃO DAS ESTACAS – BLOCO P106/106A
 ESC.: 1/50

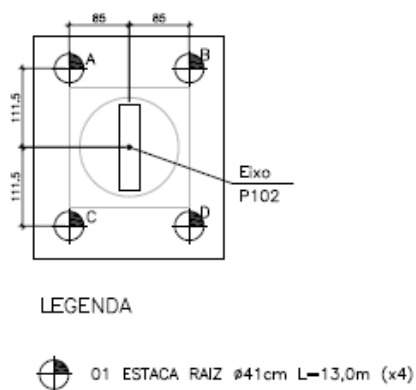


Fonte: Autor, 2017

A Figura 33 apresenta o bloco dos pilares P106/106A contendo 8 estacas \varnothing =41cm de 13 a 15 metros de comprimento, estando inseridas 12 metros em solo e 3 metros em rocha.

Figura 34 Bloco P102

LOCAÇÃO DAS ESTACAS – BLOCO P102
 ESC.: 1/50

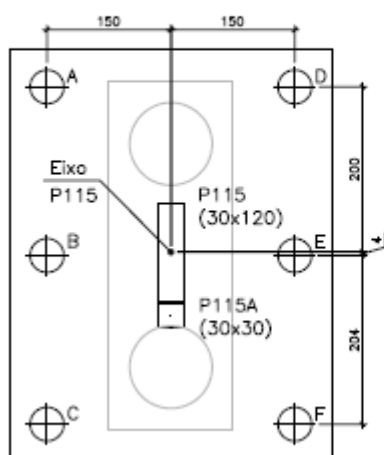


Fonte: Autor, 2017

A Figura 34 apresenta o bloco do pilar P102 com 4 estacas de $\varnothing=41\text{cm}$ de 13 metros de comprimento.

Figura 35 Bloco P115/115A

LOCAÇÃO DAS ESTACAS – BLOCO P115/115A
ESC.: 1/50



LEGENDA

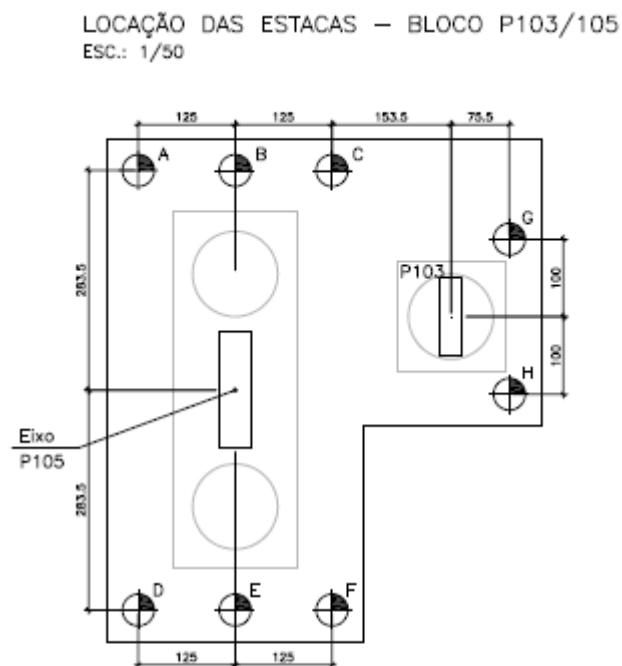
⊕ 01 ESTACA RAIZ $\varnothing 41\text{cm}$ $L=10,0\text{m}$ a $12,0\text{m}$ (x6)
(9,0m EM SOLO E 3,0m EM ROCHA OU
(6,0m EM SOLO E 4,0m EM ROCHA)

OBS.: É esperado que as estacas "A", "B", "C",
fiquem com 9,0m em solo e 3,0m em rocha e
as estacas "D", "E", "F", fiquem 6,0m em solo e
4,0m em rocha.


Fonte: Autor, 2017

A Figura 35 apresenta o bloco dos pilares P115/115A, contendo 6 estacas com $\varnothing=41\text{cm}$ e comprimento de 10 a 12 metros, sendo as estacas inseridas em 9m de solo e 3m de rocha ou 6m de solo e 4 em rocha.

Figura 36 Bloco P103/105



LEGENDA

 01 ESTACA RAIZ \varnothing 41cm L=15,0m (x8)
PARA ATÉ 151tf

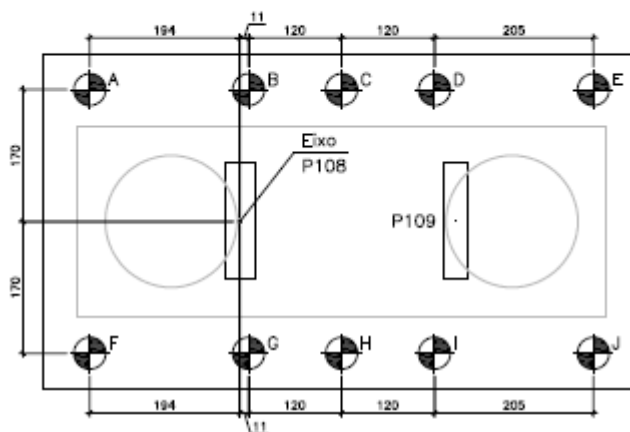
OBS: O COMPRIMENTO DE 15,0m FOI CONSIDERADO 7,0m EM SOLO E 8,0m EM ROCHA OU 11,0m EM SOLO E 4,0m EM ROCHA. QUALQUER DIVERGÊNCIA, FAVOR INFORMAR À BMS PROJETOS.

Fonte: Autor, 2017


A Figura 36 apresenta o bloco dos pilares P103/105 contendo 8 estacas de $\varnothing=41$ cm e 15m de comprimento estas projetadas para aguentar 151tf. A estacas estão inseridas 7m em solo e 8m em rocha e 11m em solo e 4m em rocha.

Figura 37 Bloco P108/109

LOCAÇÃO DAS ESTACAS – BLOCO P108/109
 ESC.: 1/50



LEGENDA

 01 ESTACA RAIZ Ø41cm L=11,0m (x10)
 PARA ATÉ 140tf

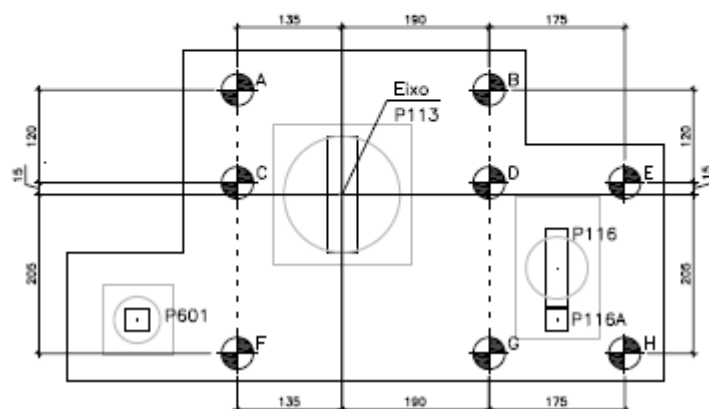
OBS: O COMPRIMENTO DE 11,0m FOI CONSIDERADO 6,0m
 EM SOLO E 5,0m EM ROCHA. QUALQUER DIVERGÊNCIA,
 FAVOR INFORMAR À BMS PROJETOS.

Fonte: Autor, 2017


A Figura 37 apresenta o bloco dos pilares P108/109 com 10 estacas de $\varnothing=41\text{cm}$ e 11m de comprimento, sendo inseridas em 6m de solo e 5m em rocha.

Figura 38 Bloco P113/116/116A/601

LOCAÇÃO DAS ESTACAS – BLOCO P113/116/116A/601
 ESC.: 1/50



LEGENDA

 01 ESTACA RAIZ \varnothing 41cm L=11,0m (x8)
 PARA ATÉ 146tf

OBS: O COMPRIMENTO DE 11,0m FOI CONSIDERADO 6,0m EM SOLO E 5,0m EM ROCHA. QUALQUER DIVERGÊNCIA, FAVOR INFORMAR À BMS PROJETOS.

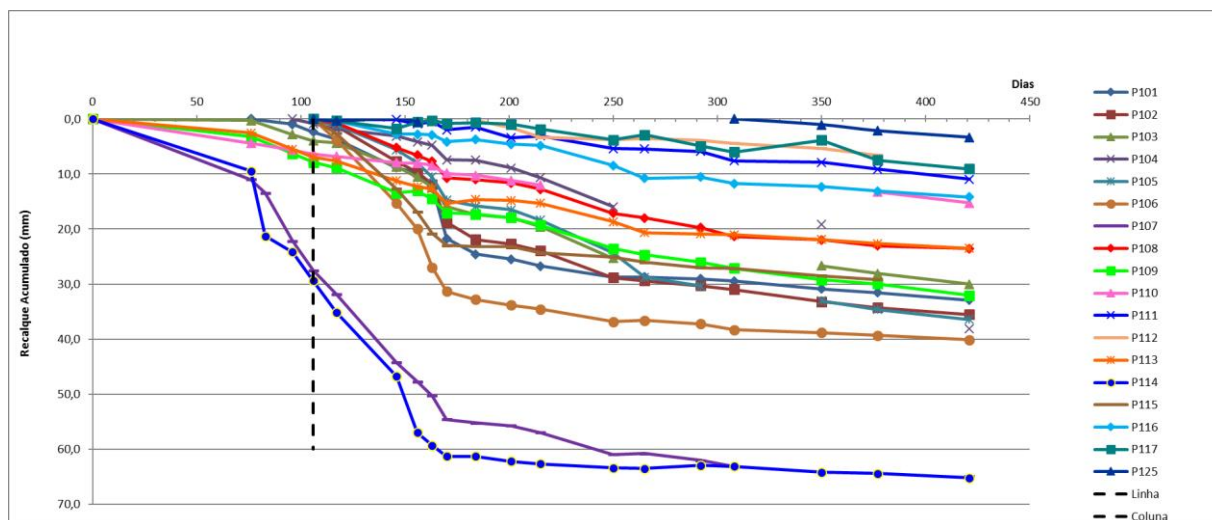
Fonte: Autor, 2017

A Figura 38 apresenta o bloco dos pilares P113/116/116A/601 com 8 estacas de $\varnothing=41$ cm e 11m de comprimento.

5.3.1 Monitoramento de recalque durante o reforço

Durante a introdução do reforço os monitoramentos de recalque continuaram sendo realizados. Realizou-se mais 14 medições, totalizando aproximadamente 421 dias, onde foram identificados os seguintes aspectos:

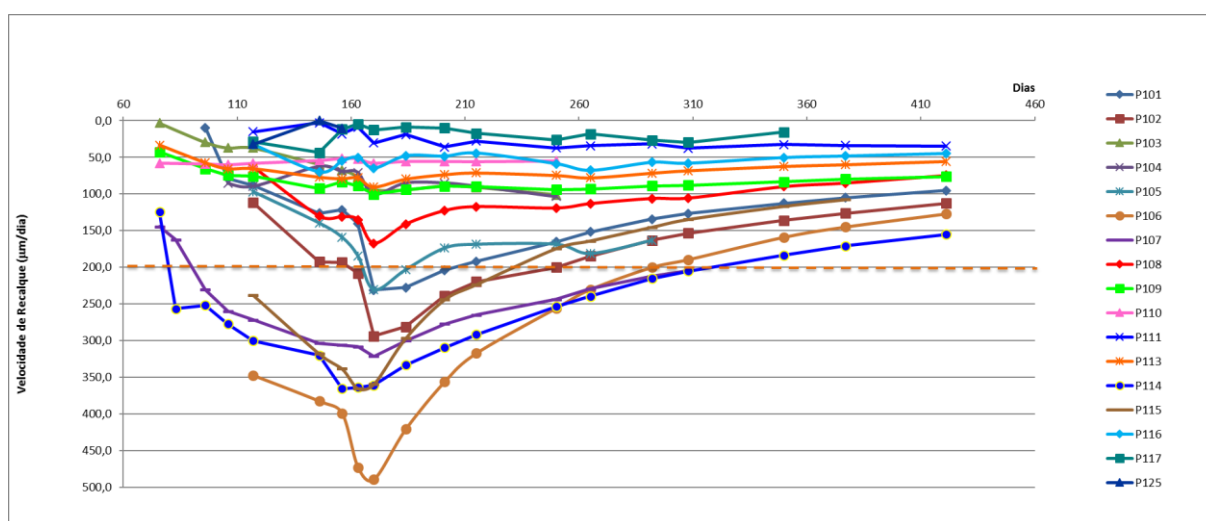
Figura 39 Recalque acumulado x dias



Fonte: Autor, 2017.

Primeiramente observou-se uma continuidade do crescimento dos recalques acumulados e das velocidades de recalque Figura 39, isso se dá devido a injeção de calda de cimento, que foi introduzida anteriormente na base dos tubulões para que o solo apresentasse uma melhora para inserção do reforço em estaca raiz. O solo em questão está sendo remexido para a introdução da nova fundação por isso dos decréscimos nas curvas nesse período.

Figura 40 Velocidade de recalque x dias

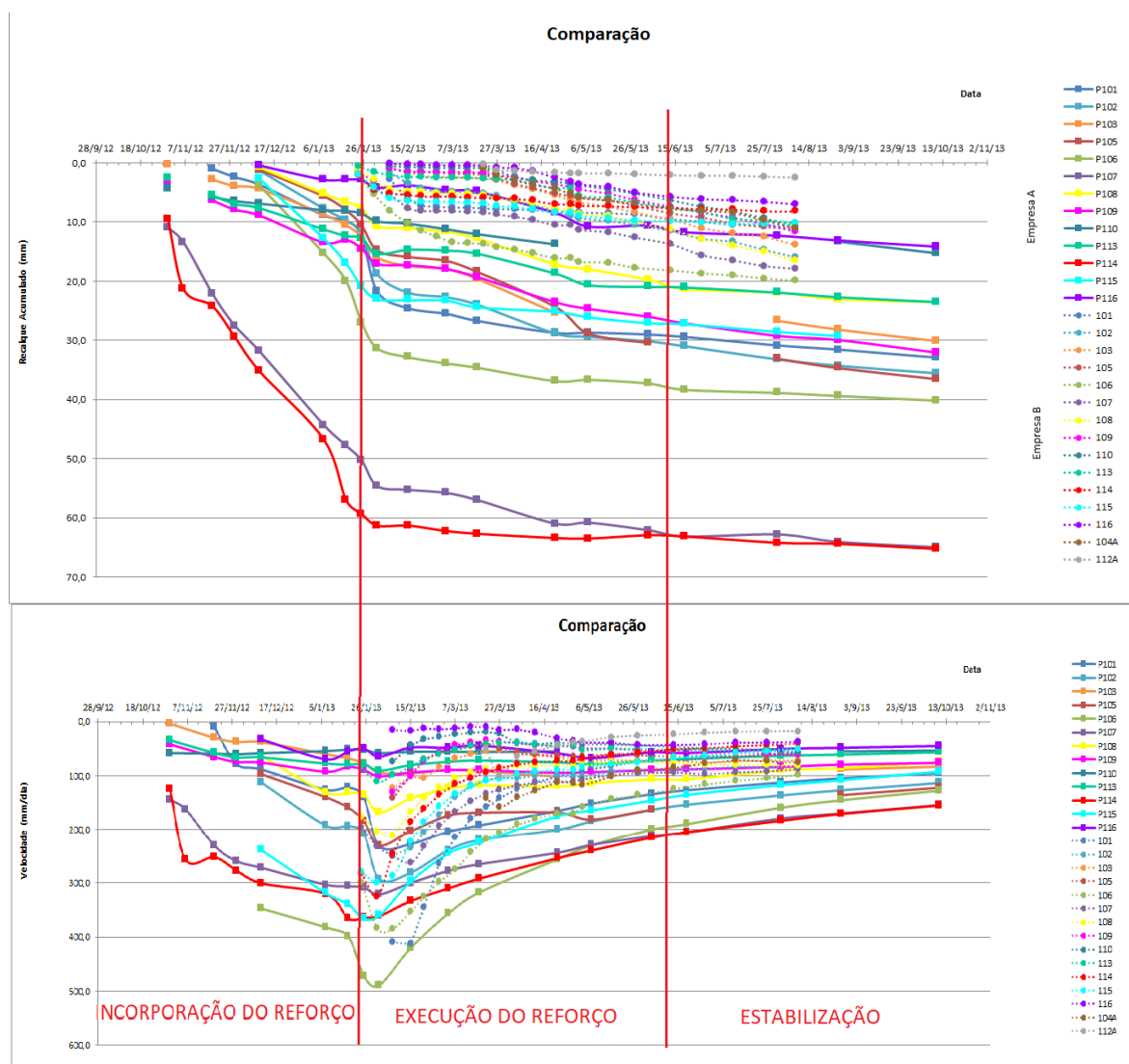


Fonte: Autor, 2017.

Em 163 dias nota-se que a curva de velocidade de recalque começa a subir e se encaminhar para a estabilização após a introdução do reforço, o que significa que os esforços atuantes na edificação começam a ser suportados pelas novas estacas.

Devido à percepção de um problema existente foi contratada uma empresa B para realizar medições de recalque juntamente com a empresa A, que realizou todos os estudos anteriores. Pode-se averiguar na Figura 41 as linhas contínuas medidas pela empresa A e as linhas tracejadas resultados obtidos pela empresa B. Percebe-se que as duas empresas obtiveram medidas de recalques aproximadas, o que defere que as medições foram realizadas corretamente.

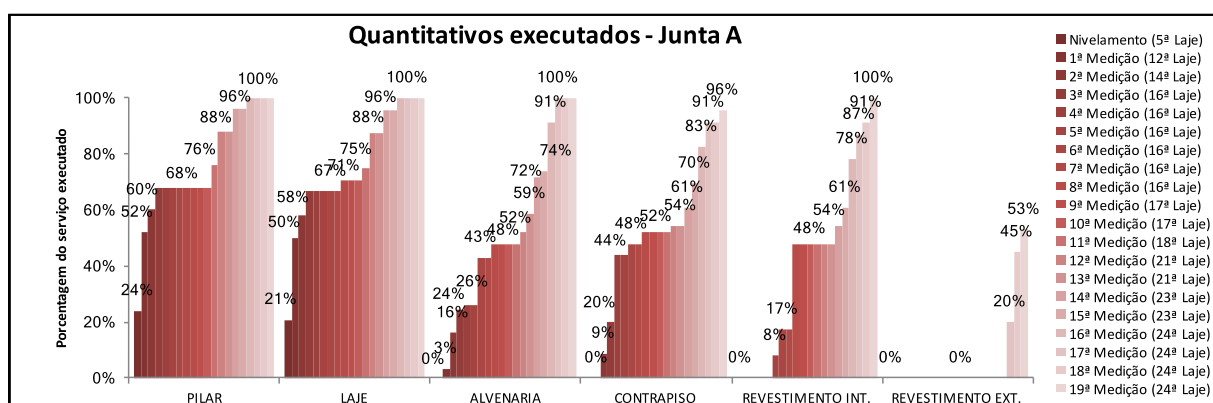
Figura 41 Comparativo de recalque acumulado e velocidade da empresa A e B até a 19ª medição



Além de um estudo comparativo entre as medições das duas empresas foi feita uma análise comparativa entre as fases de execução do reforço, incorporação do reforço e sua estabilização Figura 41, para o melhor entendimento. A análise mostra o decréscimo das curvas na fase inicial, onde foi analisada o recalque excessivo de alguns pilares da obra, a fase de incorporação do reforço onde as curvas ainda continuam decrescendo por causa da movimentação do solo, a fase de incorporação do reforço onde foram introduzidas as estacas raiz e a fase do início da estabilização da edificação.

Na Figura 42 são relacionadas à carga total do prédio referente ao número de medições realizadas. Observa-se que na 19ª medição que foi realizada na 24ª laje, onde no dia 25/06/2013 o reforço acabara de ser incorporado, a carga do prédio era de 62% em relação ao carregamento total, o que nos mostra uma porcentagem acima da média, um carregamento ideal para estabilização do reforço.

Figura 42 Quantitativos executados até a 19ª medição



Fonte: Autor, 2017.

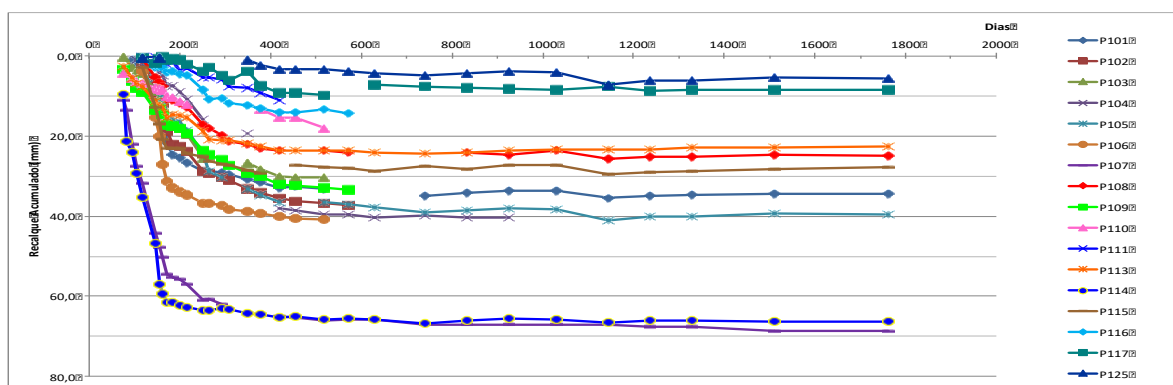
5.3.2 Monitoramento de recalque após o reforço

Após a introdução do reforço foram medidos recalque durante 1200 dias. A obra foi se tornando estável com o decorrer do tempo como podemos observar nas Figura 43 e 44, tanto a velocidade de recalque quanto o rebaixamento dos pilares se estabilizaram.

O edifício foi monitorado durante 1800 dias para o acompanhamento da situação e para verificar a reação da edificação, após a introdução do reforço o prédio já

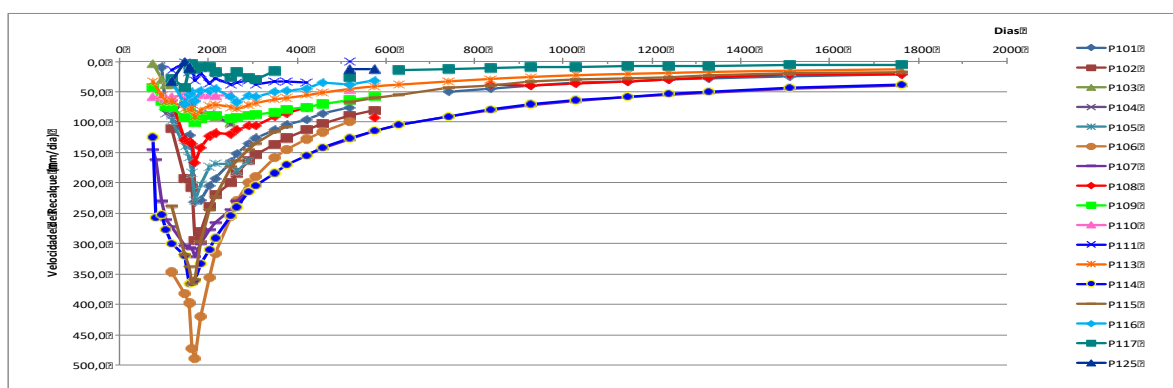
se encontrava totalmente ocupado e as medições de recalque continuaram sendo observadas até o ano de 2017. O reforço começou a se estabilizar em aproximadamente 600 dias corridos na 19ª medição onde a concretagem das estacas já tinha sido realizada, como pode-se observar nos gráficos de recalque acumulado e velocidade de recalque.

Figura 43 Curva recalque acumulado x Dias.



Fonte: Autor, 2017.

Figura 44 Curva velocidade de recalque x Dias.



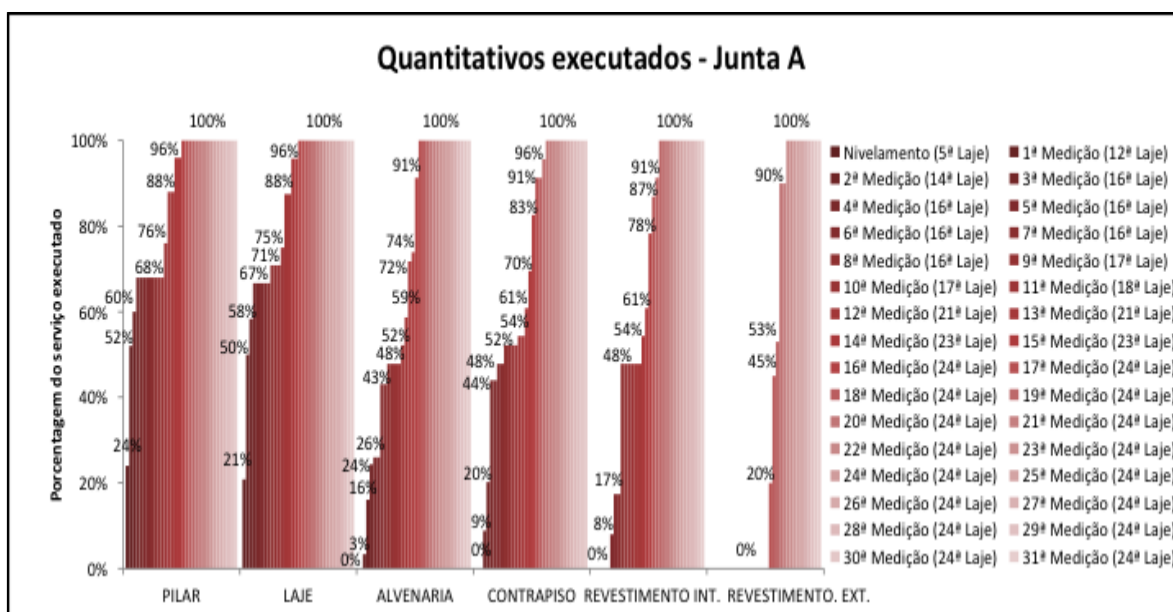
Fonte: Autor, 2017.

Os gráficos apresentados nas Figura 43 e Figura 44 apresentam todo o decorrer da obra até ao ano de 2017, totalizando aproximadamente 1800 dias e 31 medições realizadas para o controle de recalques. A partir da 19ª medição observa-se que não houveram variações significativas tanto quanto aos recalques acumulados Figura 43 nem quanto a velocidade de recalque Figura 44.

Foram realizadas 12 medições após a introdução do reforço, o que pode-se garantir tempo suficiente para observar o comportamento da edificação após a reintegração da fundação. Observando-se assim o reforço desempenhou o papel que lhe foi dado.

A Figura 45 ilustra o acréscimo de carga, por meio do levantamento dos quantitativos dos serviços executados entre o Nivelamento e a 31ª Medição de recalque da Junta A do empreendimento em questão. O levantamento foi feito “*in loco*” na mesma data da medição. Conclui-se a partir da 20ª a 31ª medição que o prédio encontra-se totalmente acabado, atuando com o seu carregamento total, isso significa que não serão introduzidas mais cargas significativas a obra. Assim podemos contatar juntamente com as figuras anteriores a estabilização da obra.

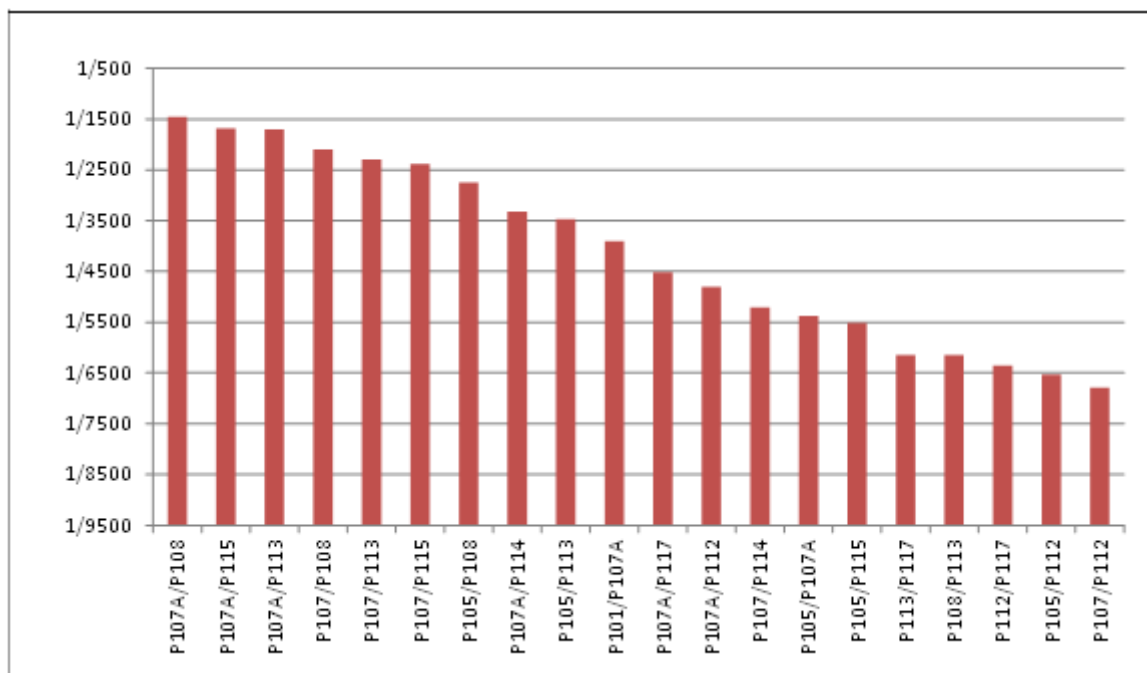
Figura 45 Quantitativos até a 31ª medição.



Fonte: Autor, 2017.

Analisando os recalques distorcionais após a introdução do reforço na edificação, foi realizado a construção do gráfico da Figura 46 que mostra os recalques distorcionais influentes entre os pilares.

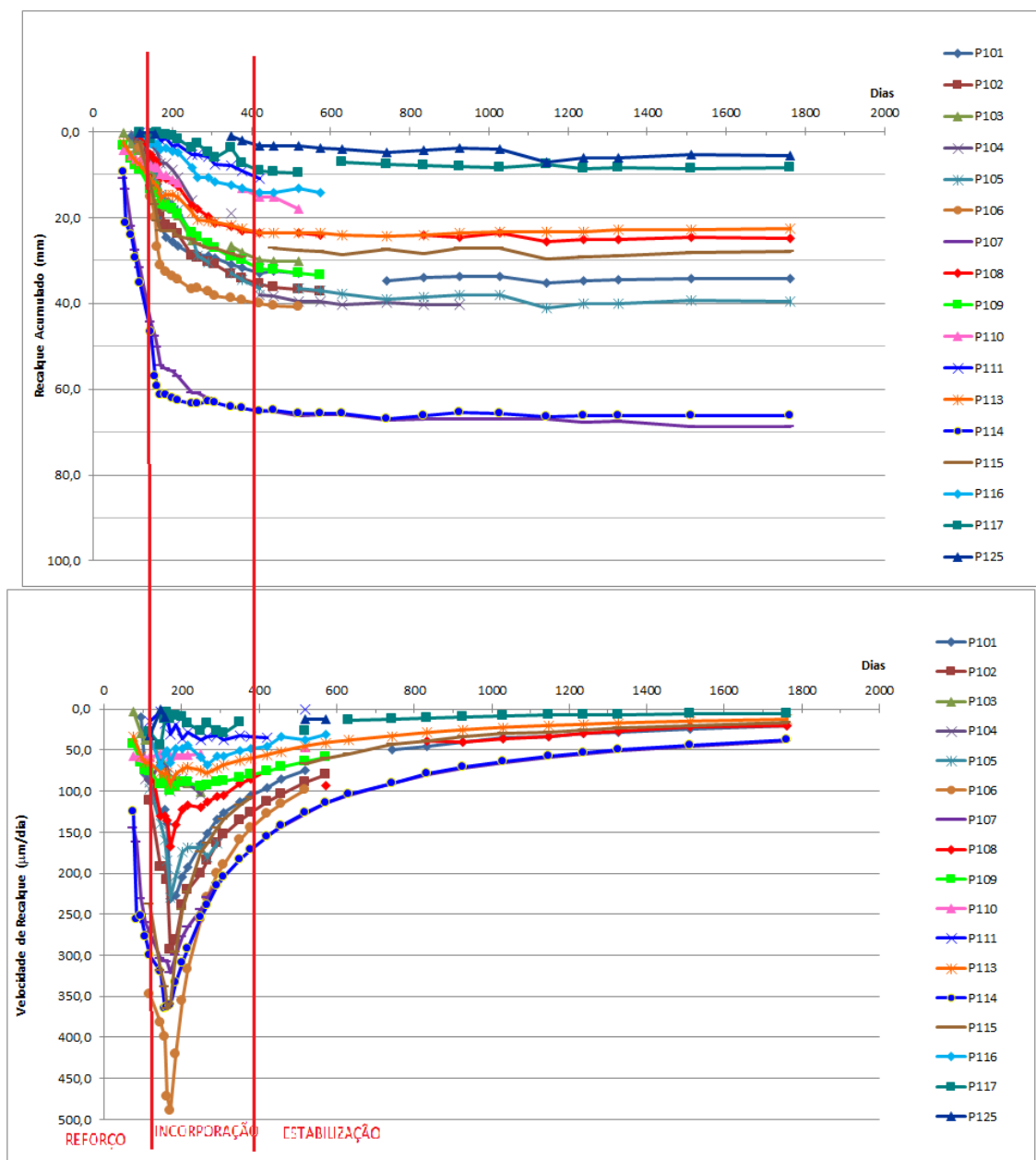
Figura 46 Recalques distorcionais



Fonte: Autor, 2017.

Considerando todos os pilares lidos depois de finalizados as interferências de reforço, o valor obtido para o recalque distorcional entre a 19ª Medição e a 31ª Medição foi de 1/1458 entre os pilares P107A e P108, inferior à referência admitida em literatura. Este resultado reflete que não serão necessários reparos estruturais de pilares na obra após o reforço da fundação.

Figura 47 Curva comparativa entre reforço, incorporação e estabilização.

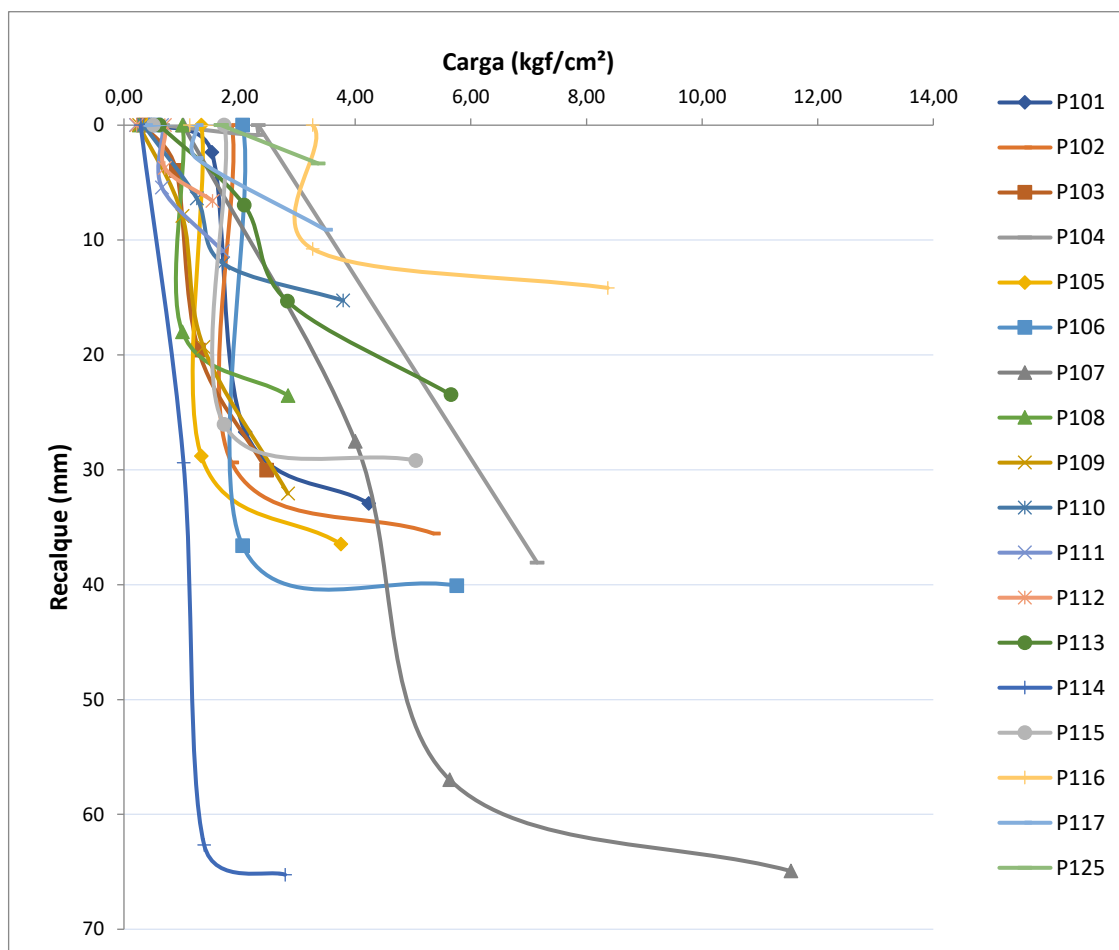


Fonte: Autor, 2017

Outra investigação a ser verificada é a relação carga x recalque, como podemos ver na Figura 48 onde os maiores recalques no decorrer do acréscimo de cargas na edificação podem ser observados. A carga do prédio não tem início no 0 pois quando houve o nivelamento a obra estava na quinta laje. Foram consideradas para realização dessas curvas as medidas de tensões em cada pilar medidas em kgf/cm^2 e recalque medido em mm do nivelamento, realizado em 15/08/2012, a 3ª medição

realizada no dia 29/11/2012, 11ª medição realizada em 18/03/2013 e 18ª medição realizada em 10/10/2013, nesta onde o reforço já tinha sido introduzido.

Figura 48 Curva carga x recalque



Fonte: Autor, 2017.

Pode-se realizar um estudo comparativo entre os recalques e suas velocidades no decorrer da obra. Abaixo se tem um comparativo de análise desses parâmetros durante toda a obra e outro apenas após a introdução do reforço da fundação. Mostrando que houve após o reforço de fundação os recalque e velocidades de recalque foram considerados com baixo valor, esses sendo aceitáveis em termos de recalque.

Tabela 5 Resultados de recalque total e velocidade de recalque da 31ª Medição – Junta A

Pilares	Data	Data	$\Delta t = 1762$ dias	
	15/08/2012	12/06/2017		
	Nivelamento	31ª Medição	Recalque Total (mm)	Velocidade de Recalque ($\mu\text{m}/\text{dia}$)
	Cota de Referência (mm)	Cota de Referência (mm)		
P101	2718,260 ⁽¹⁾	2683,955	34,305	20,35
P102	2658,135 ⁽²⁾	-7	-	-
P103	2542,31	-6	-	-
P104	2425,620 ⁽⁴⁾	-7	-	-
P105	2678,660 ⁽²⁾	2515,79	39,625	-
P106	2686,110 ⁽²⁾	-6	-	-
P107	2476,24	2407,59	68,65	38,96
P107A	2730,040 ⁽²⁾	2686,22	43,82	26,46
P108	2456,460 ⁽⁸⁾	2455,79	24,76	20,53
P109	2621,76	-6	-	-
P110	2555,825 ⁽⁵⁾	-6	-	-
P111	2729,265 ⁽²⁾	-6	-	-
P112	2820,720 ⁽³⁾	2814,05	6,67	4,27
P113	2488,12	2465,57	22,55	12,8
P114	2488,12	2449,21	66,245	37,6
P114A	2515,455 ⁽²⁾	-6	-	-
P115	2506,195 ⁽²⁾	2489,75	27,815	16,8
P116	2517,565 ⁽²⁾	-6	-	-
P117	2718,260 ⁽²⁾	2603,755	8,45	5,1
P125	2766,505 ⁽²⁾	2761,44	5,58	-

⁽¹⁾Pilares nivelados na 1ª Medição (30/10/12), intervalo entre as medições de 1686 dias. ⁽²⁾Pilares nivelados na 3ª Medição (29/11/12), intervalo entre as medições de 1656 dias. ⁽³⁾Pilar nivelado na 10ª Medição (04/03/13), intervalo entre as medições de 1561 dias. ⁽⁴⁾Pilares nivelados na 15ª Medição (19/06/13), intervalo de 1454 dias. ⁽⁵⁾Pilares nivelados na 16ª Medição (31/07/13), intervalo de 1412 dias. ⁽⁶⁾Pino danificado. ⁽⁷⁾Pino obstruído. ⁽⁸⁾Novo pino instalado e nivelado na 23ª Medição.

Fonte: Autor, 2017.

A Tabela 5 mostra as diferenças de recalque e velocidade de recalque entre o nivelamento e a última medição, podendo assim ter-se uma noção do quando os pilares recalçaram em uma média de 1762 dias durante toda a obra. Observa-se que os pilares P107 e P114 apresentaram os maiores valores da análise.

Tabela 6 Resultados de recalque total e velocidade de recalque - Junta A após reforço

Pilares	Data	Data	$\Delta t = 1306$ dias	
	14/11/2013	12/06/2017		
	19ª Medição	31ª Medição	Recalque Total (mm)	Velocidade de Recalque ($\mu\text{m}/\text{dia}$)
	Cota de Referência (mm)	Cota de Referência (mm)		
P101	2685,74	2683,955	1,785	1,37
P102	2621,995	-3	-	-
P103	2503,08	-2	-	-
P104	2403,15	-3	-	-
P105	-1	2515,79	3,165	2,42
P106	2645,645	-2	-	-
P107	2411,005	2407,59	3,415	2,61
P107A	2690,84	2686,22	4,62	3,54
P108	-1	2455,79	0,67	0,51
P109	2589,515	-2	-	-
P110	2599,14	-2	-	-
P111	-1	-2	-	-
P112	2814,54	2814,05	0,49	0,38
P113	2464,63	2465,57	-0,940 ⁽⁴⁾	-
P114	2450,5	2449,21	1,29	0,99
P114A	-1	-2	-	-
P115	2490,32	2489,75	0,57	0,44
P116	2693,2	-2	-	-
P117	2605,08	2603,755	1,325	1,01
P125	2763,74	2761,44	2,3	1,76

⁽¹⁾Pilar não nivelado na 19ª Medição. ⁽²⁾Pino danificado. ⁽³⁾Pino obstruído. ⁽⁴⁾A incerteza envolvida no processo de leitura é da ordem de 1,0 mm. Os resultados negativos obtidos encontram-se dentro desta incerteza.

Fonte: Autor, 2017.

Na Tabela 6 Tabela 6 pode-se analisar um comparativo realizado da diferença de recalques entre a 19ª e 31ª medição de recalque e de velocidade de recalque. Os resultados obtidos estão dentro dos limites recomendados pelas bibliografias em termos de recalques, distorções angulares e velocidades de recalque.

De modo geral, observam-se pequenos valores de recalques na 31ª Medição, com velocidades abaixo da admitida de acordo com a literatura.

De acordo com as curvas Figura 47, pode-se observar, no geral, uma tendência de diminuição das velocidades de recalque ao longo do tempo, sendo confirmada na análise global da estabilidade de recalque a tendência de redução das mesmas.

6 CONCLUSÃO

Esse trabalho teve como objetivo apresentar um estudo de caso de uma edificação residencial, com 22 (vinte e dois) pavimentos, dois subsolos e cobertura, tendo como foco principal a análise da fundação da junta A da edificação, com fundação em tubulão. A análise contempla estudos de sondagens, controle de recalques, medição de velocidade de recalque durante seis anos, checagem de conformidade de projeto para averiguação da necessidade do reforço de fundação e análise de seu desempenho.

Com o monitoramento de recalque, por meio dos recalques absolutos e velocidades de recalque, foi possível averiguar como dois pilares da junta A, em estudo, se deslocavam à medida que o edifício era construído e conseqüentemente carregado, fato que comprova a importância do monitoramento recalques durante a execução da obra, como prevê da norma de fundações NBR 6122.

Outro parâmetro de fundamental importância observado neste trabalho foi a conformidade de projeto. Analisando-se as cargas providas dos pilares nos tubulões durante a construção da edificação pode-se observar a não conformidade com o projeto de fundação. Os tubulões dimensionados para suporta tensões admissíveis de 7tf recebiam em alguns casos cargas superiores as de projeto. O pilar P107 com maior carregamento da edificação, possuía apenas dois tubulões, onde havia a necessidade do dobro de tubulões para suportarem a carga.

A tomada de decisão para execução de reforço de fundações foi feita em curto espaço de tempo o que deu serenidade a solução adequada ao problema. Foi levado em conta os equipamentos disponíveis na região da edificação, a tipologia das fundações já executadas e o tipo de solo local. Sendo assim, o reforço foi em estaca raiz, solução viável considerando os condicionantes técnicos e a economicos.

A partir da introdução do reforço foram analisados os recalques e suas velocidades. A averiguação constatou que durante a instalação das estacas de reforço, os recalques e suas velocidades aumentavam, por causa do desconfinamento do solo de fundação, porém, ao longo do tempo esses dados foram diminuindo progressivamente até que as estacas incorporadas comesçassem a trabalhar em conjunto com as

demais fundações, tornando os recalques estáveis com o tempo e o reforço consolidado.

Como conclusão do trabalho, destaca-se a importância da utilização do monitoramento de recalque, pois o método é simples e permite identificar precocemente as manifestações patológicas e problemas de projeto, para que sejam identificadas e corrigidas a tempo da situação não se agravar. A análise do monitoramento de recalque nos mostrou a situação encontrada e por meio dessas análises foi possível identificar o foco do problema e os pilares que mais foram agravados devido ao erro de projeto.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. (1983) Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios. NBR-8036. Associação Brasileira de Normas Técnica, Rio de Janeiro, 3p.

ABNT. (1985) Segurança de escavação a céu aberto. NBR- 9061. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 31p.

ABNT. (2001) Sondagem de simples reconhecimento com SPT- Método de ensaio,17. NBR-6484. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de janeiro, 17p.

ABNT. (2003). Ações e segurança nas estruturas. NBR-8681. Associação Brasileira de Normas Técnicas Rio de janeiro, 16p.

ABNT (2010). NBR6122. Associação Brasileira de Normas Técnicas . Projeto e execução de fundações. Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR-6122 Rio de Janeiro, 91p.

Alonso, U. R. Previsão e controle das fundações. 2.ed São Paulo, Blucher Ltda, 1991.

ALONSO, U.R. Previsão e controle das fundações. Edição (se houver). Local: Editora, ano.

ALVA, G. M. Projeto Estrutural de Sapatas, 2007. 39f, Santa Maria .

ARAGÃO, L. M. Plano de monitoramento de recalque de fundações do cloco Ateliê do curso de arquitetura e urbanismo da universidade do Ceará. 2011, 55f. TCC (Graduação) - Centro de Tecnologia Departamento de de Engenharia Estrutural e Construção Civil, Fortaleza, 2011.

BAHIA, G. D. Análise do desempenho de fundação durante a construção de edificio localizado no DF. 2013, 95f. TCC (Graduação) - Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Centro Universitário de Brasília, Brasília-DF, 2013.

BERBERIAN, D. Engenharia de Fundações . 1ed. Brasília, Universa, 1999

CAPUTO, H. P. Mecânica dos solos e sua aplicações . 6ed. Rio de Janeiro : LTC, 1988.

DONADON, E. F. Comportamento de estacas “Mega” de concreto, implantadas em solo colapsível. 2009, Campinas.162f, Dissertação (Mestrado) Programa de Estudos Pós-graduados em Educação Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, 2009.

GUSMÃO, A. D.; GUSMÃO FILHO, J. A., (1994). Avaliação da influência da interação solo-estrutura em edificações. In: X Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, v. 2, pp. 447/454, Salvador, Bahia, Brasil.

HACHICH, W., Falconi, F. F., SAES, J. L., FROTA, R. G., CARVALHO, C. S., & NIYAMA, S. Fundações: Teoria e Prática. 2ed. São Paulo: Pini Ltda, 1998.

HOLANDA, A. B. Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa . 11ed. São Paulo Positivo, 2010.

MILITITSKY, J., CONSOLI, N. C., & SCHNAID, F. Patologia das Fundações. 2.ed. São Paulo : oficina de textos, 2015.

MOTA, M. M. Interação Solo-estrutura em edifícios com fundação profunda: Método numérico e resultados observados no campo. 2009, Dissertação (Doutorado) Universidade de São Paulo: Escola de Engenharia de São Carlos , São Carlos, 2009.

PORTO, T. B. Estudo da interação de paredes de alvenaria estrutural com a estrutura de fundação. 2010, Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Minas: Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 2010.

VELLOSO, D. d., & LOPES, F. d. Fundações. Vol 1. Rio de Janeiro: Oficina de Textos, 2012.

NIYAMA, S.; AOKI N.; CHAMECKI, P. Verificação de Desempenho. Fundações: Teoria e prática. 2ed. São Paulo. Pini Ltda, 1998, Cap. 20.1, p. 723- 749

