



Universidade Federal  
do Rio de Janeiro  
Escola Politécnica

# ANÁLISE DOS RECALQUES DAS FUNDAÇÕES DO HOSPITAL UNIVERSITÁRIO CLEMENTINO FRAGA FILHO

Lays Cristina Barcelos de Souza

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Título de Engenheiro.

Orientadores:

Leonardo De Bona Becker

Fernando Artur Brasil Danziger

Rio de Janeiro

Julho de 2013

# ANÁLISE DOS RECALQUES DAS FUNDAÇÕES DO HOSPITAL UNIVERSITÁRIO CLEMENTINO FRAGA FILHO

Lays Cristina Barcelos de Souza

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS  
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE  
ENGENHEIRO CIVIL.

Examinada por:

---

Prof. Leonardo de Bona Becker, D.Sc.

---

Prof. Fernando Artur Brasil Danziger, D.Sc.

---

Prof. Francisco de Resende Lopes, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL  
JULHO DE 2013

Souza, Lays Cristina Barcelos de

Análise dos recalques das fundações do Hospital  
Universitário Clementino Fraga Filho/ Lays Cristina  
Barcelos de Souza – Rio de Janeiro: UFRJ/ ESCOLA  
POLITÉCNICA, 2013.

VI, 64 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Leonardo Becker e Fernando Danziger

Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/  
Curso de Engenharia Civil, 2013.

Referências Bibliográficas: p.63-64.

1. Análise de Recalques 2. Reforço de Fundações

I. Becker, Leonardo et al. II. Universidade Federal do  
Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia  
Civil. III. Análise dos recalques das fundações do Hospital  
Clementino Fraga Filho.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Civil.

## Análise dos Recalques das Fundações do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho

Lays Cristina Barcelos de Souza

Julho/2013

Orientadores: Leonardo de Bona Becker e Fernando Artur Brasil Danziger

Curso: Engenharia Civil

A ruptura de dois pilares da área AIII do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho deflagrou uma série de discussões acerca da melhor medida a ser tomada em relação a esta área do hospital, tendo-se decidido pela implosão. Após a implosão, foram detectadas movimentações e verificado o surgimento de trincas na área remanescente próxima à área demolida. Foi instalado um sistema de monitoramento dos recalques, tendo-se considerado necessário o reforço das fundações. O reforço foi executado com dois tipos de estacas: raiz e Mega. O presente trabalho analisa os recalques monitorados, visando (i) a compreensão do mecanismo do reforço para cada tipo de estaca e (ii) a movimentação do prédio como um todo.

*Palavras-chave:* Análise de recalques, estacas raiz, estacas tipo Mega.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

## Analysis of the settlements of the foundation of the Clementino Fraga Filho University Hospital

Lays Cristina Barcelos de Souza

July/2013

Advisors: Leonardo de Bona Becker e Fernando Artur Brasil Danziger

Curso: Civil Engineering

The failure of two columns in area AIII of Clementino Fraga Filho University Hospital lead to discussions regarding the best solution for this part of the hospital. An implosion was decided. After the implosion, significant movements and cracks have been observed in the area adjacent to the imploded structure. A system to monitor the settlements was installed and the underpinning of the foundations was considered necessary. Two kinds of piles were used: root piles and jacked piles. The present dissertation analyses the measured settlements aiming at the understanding of: (i) the underpinning process for each type of pile and (ii) the pattern of movements of the whole building.

*Keywords:* analysis of settlements, root piles, jacked piles.

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>1.1. Relevância e Objetivo do Estudo</b> .....	1
<b>1.2. Metodologia</b> .....	3
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	3
<b>2.1. Estacas raiz</b> .....	3
<b>2.2. Estacas tipo Mega</b> .....	6
<b>3. ASPECTOS GERAIS DA REGIÃO ESTUDADA</b> .....	9
<b>3.1. Dados Históricos</b> .....	9
<b>3.2. Aspectos Geológicos e Geotécnicos</b> .....	14
<b>4. ASPECTOS ESPECÍFICOS DO BLOCO AIII</b> .....	14
<b>4.1. Subsolo da área</b> .....	16
<b>4.2. Fundações da área AIII</b> .....	19
<b>4.3. Medição de Recalques</b> .....	21
<b>4.4. Cargas nos pilares</b> .....	24
<b>5. PROCESSO EXECUTIVO DOS SERVIÇOS DE REFORÇO</b> .....	24
<b>5.1. Estaca Raiz</b> .....	24
<b>5.2. Estaca tipo Mega</b> .....	27
<b>6. ANÁLISE DOS RECALQUES MEDIDOS</b> .....	31
<b>6.1. Recalques durante o reforço por estaca raiz</b> .....	31
<b>6.2. Recalques durante o reforço por estaca tipo Mega</b> .....	36
6.2.1. COMPORTAMENTO DURANTE A CRAVAÇÃO DAS ESTACAS TIPO MEGA: ..50	
6.2.2. COMPORTAMENTO DURANTE AS OPERAÇÕES DE TROCA DOS MACACOS PARA SOLDA DOS SEGMENTOS DE ESTACA TIPO MEGA:.....	51
<b>7. ANÁLISE DOS DANOS NO PRÉDIO</b> .....	52
<b>7.1. Trincas no Primeiro Andar</b> .....	53
<b>7.2. Trincas no Segundo Andar</b> .....	57
<b>7.3. Análise da Movimentação do prédio</b> .....	60
<b>8. CONCLUSÕES</b> .....	61
<b>9. REFERÊNCIAS</b> .....	63

## **1. INTRODUÇÃO**

O presente projeto de graduação analisa os recalques provocados por dois tipos de reforços estruturais utilizados nas fundações do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho (HUCFF).

O HUCFF é um centro de excelência em ensino, pesquisa e extensão, sendo referência no tratamento de patologias de alta complexidade. O HUCFF conta com um efetivo de mais de 3.000 profissionais, entre professores, enfermeiros, médicos e funcionários administrativos. O HUCFF ocupa um prédio de 220 mil metros quadrados, com 13 andares. A inauguração ocorreu em 1978, segundo UFRJ (2013).

Entretanto, desde sua inauguração, apenas metade do prédio, denominada Ala Norte, foi ocupada. A outra parte, a Ala Sul, ficou abandonada, sem manutenção. Devido à deterioração sofrida e danos estruturais, a parte abandonada foi demolida no final de 2010.

Depois da demolição, foi instalado um programa contínuo de controle de recalques e a parte do prédio remanescente situada perto da área de demolição apresentou movimentação e recalques significativos, mostrando a necessidade de obras de reforço das fundações. Foram realizados dois tipos de reforços para estabilizar os recalques: estacas Mega e estacas Raiz. Entretanto, a execução destes reforços provocou recalques adicionais significativos que posteriormente se estabilizaram.

### **1.1. Relevância e Objetivo do Estudo**

Recalque é o movimento vertical descendente da fundação. Toda fundação sofre recalques resultantes da interação solo-estrutura e da solicitação a que está submetida. Os recalques podem ser classificados em: recalques absolutos, recalques diferenciais e recalques distorcionais.

O recalque absoluto é o recalque de uma fundação, ou ainda de um ponto de uma fundação (no caso de fundação de grandes dimensões). Já o recalque diferencial é a diferença entre dois recalques absolutos (de duas fundações ou de dois pontos de uma

mesma fundação, no caso de fundações de grandes dimensões). Por último, o recalque distorcional (também chamado de recalque diferencial específico ou distorção angular) é a relação entre o recalque diferencial e distância correspondente, dado em geral em função de uma fração cujo numerador é unitário (exemplo: 1/700).

No que diz respeito aos danos que podem ser causados às estruturas, vale lembrar que tais danos não são apenas estruturais, mas também funcionais e estéticos. Os danos estruturais estão fundamentalmente relacionados ao recalque distorcional, uma vez que estão associados à questão da flexão das peças da estrutura. Os recalques absolutos estão relacionados a danos funcionais e estéticos (ruptura de tubulações, por exemplo), enquanto os recalques diferenciais podem estar associados tanto aos danos estruturais (através dos recalques distorcionais) como funcionais e estéticos (modificação de caimentos e inclinação do prédio, por exemplo).

O recalque admissível que cada estrutura consegue absorver sem danos depende do tipo, tamanho e utilização da estrutura, tipo de fundação e localização da estrutura.

O controle de recalque de um edifício representa uma verificação do desempenho global das fundações, permitindo avaliar a evolução dos seus valores no decorrer do tempo, verificar a ocorrência de recalques diferenciais e distorcionais que comprometem a estrutura, bem como alertar quanto à necessidade de eventual reforço.

Os objetivos do presente projeto de graduação são:

- Descrever o processo executivo dos métodos de reforço executados no Hospital Universitário Clementino Fraga Filho (HUCFF);
- Descrever o método de medição dos recalques, apresentar os valores medidos durante a execução dos reforços e analisar as causas dos recalques provocados pelos dois tipos de estaca utilizados como reforço nas fundações do HUCFF.
- Diagnosticar movimento da estrutura a partir de trincas existentes no HUCFF.



## **1.2. Metodologia**

Para alcançar os objetivos propostos foi adotada a seguinte metodologia

- Para descrever o processo executivo dos reforços foram utilizadas fotos da obra, diário de obras, boletim de perfuração e injeção das estacas raiz e da cravação das estacas tipo Mega.
- Para descrever o método de medição dos recalques e apresentar os valores medidos foram consultados os gráficos de recalques e as planilhas de monitoramento elaborados pela LIMBO Topografia e o relatório de acompanhamento dos serviços de monitoramento elaborado pelo engenheiro Adalsino Gonçalves.
- Para apresentar e analisar as trincas, baseou-se em fotos do local e visitas ao prédio.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Estacas raiz**

Em 1952, o Eng. Fernando Lizzi concebeu na Itália uma estaca escavada de pequeno diâmetro, originalmente utilizada para contenção de encostas e reforço de fundações, denominada "Pali Radice" ou estaca raiz. Ao longo dos anos, com o aprimoramento de novas técnicas de perfuração e ampliação de novos conceitos da mecânica dos solos, seu uso disseminou-se, mesmo em fundações de estruturas novas.

A estaca raiz é um tipo de estaca escavada. É uma estaca concretada “in-loco”, armada, considerada de pequeno diâmetro, pois o mesmo varia entre 100 mm e 410 mm (hoje já são executadas estacas raiz com diâmetros maiores que 410 mm), tendo elevada capacidade de carga baseada geralmente na resistência por atrito lateral do terreno atravessado. Seu processo executivo consiste em perfuração, armação e concretagem.

A perfuração é feita pelo processo rotativo, com circulação de água, até a profundidade indicada em projeto. Um tubo de revestimento munido na extremidade com uma coroa de perfuração é utilizada na escavação. A água é injetada no interior do revestimento e o material oriundo da escavação reflui, juntamente com a água, pelo

espaço entre o tubo e o terreno. A perfuratriz pode atravessar alvenaria, concreto armado e material rochoso, na direção vertical ou inclinada.

Terminada a perfuração, posiciona-se a armadura e concretiza-se a estaca (é usada argamassa, ao invés de concreto), segundo o processo de concretagem submersa (a argamassa é bombeada através de um tubo que desce até o fundo do furo, e expulsa a água, de baixo para cima). O próximo passo consiste em retirar o tubo de revestimento, o que é feito em segmentos de 1 m a 3 m. Após retirado, o nível da argamassa desce um pouco, devido a mesma ocupar vazios do solo e o espaço ocupado pelo tubo. O nível de argamassa deve ser preenchido até o topo e uma tampa rosqueada é colocada no topo. Esta tampa possui um orifício pelo qual se insere ar comprimido, a uma pressão entre 1 a 3 kgf/cm<sup>2</sup> (100 a 300 kPa), e a argamassa desce então um pouco mais no tubo, e é novamente completada, sendo então repetido o processo até a completa retirada do tubo.

Um esquema da execução da estaca raiz encontra-se na figura 2.1.

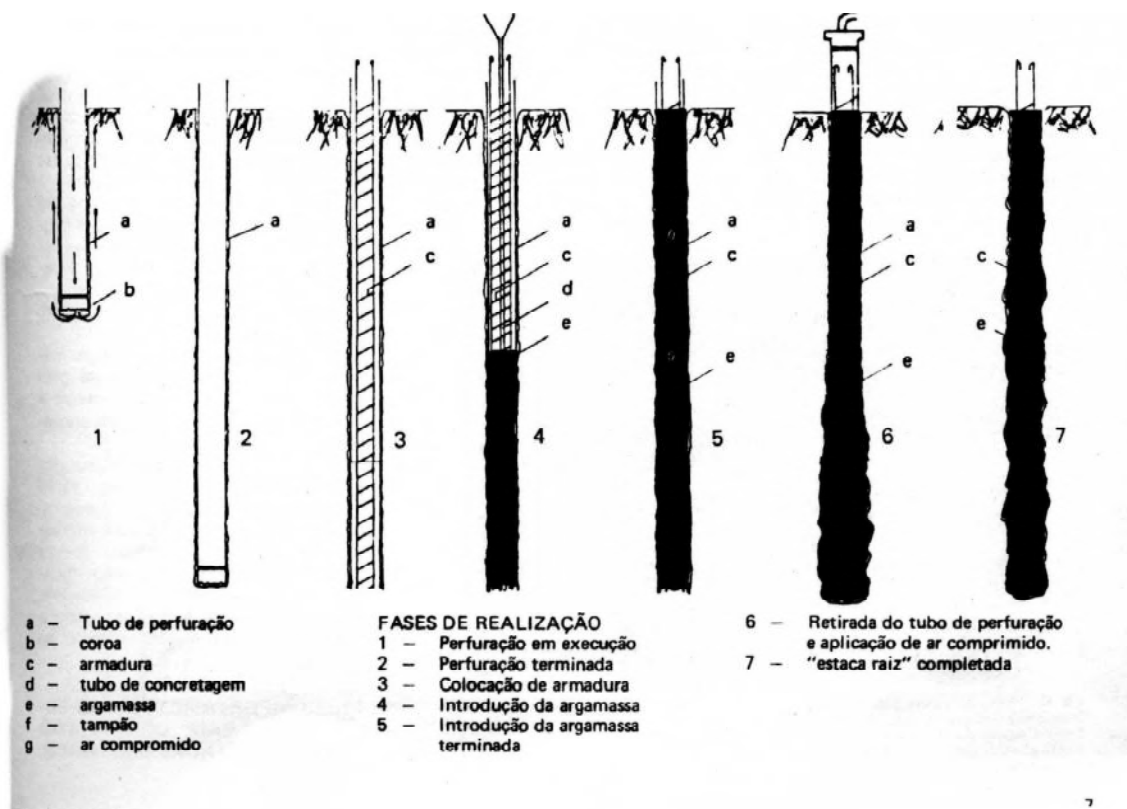


Figura 2.1: Esquema de Execução da Estaca Raiz (Brasfond, 1990)

Algumas variações do método original são comuns no Brasil. Em alguns casos, utiliza-se ar comprimido na perfuração, ao invés de água. Além disso, quando é

necessário perfurar materiais rochosos, é comum adotar um processo roto-percussivo para a perfuração.

Tendo em vista a pequena dimensão dos equipamentos, se comparados com outras máquinas para execução de fundações, tais estacas são uma boa solução para espaços com limitações de pé direito ou da área de trabalho e encostas íngremes. Além disso, a execução de estacas raiz causa mínima perturbação ao ambiente que a circunda (vibração e poluição sonora). Como vantagem, também se pode salientar a resistência a cargas de tração muito elevadas, sendo ideal para as fundações de várias obras especiais, como torres de linha de transmissão.

Porém, quando utilizada em obras de reforço, observa-se que a estaca raiz não age imediatamente, pois precisa de certa deformação para começar a trabalhar. Isto pode ser prejudicial em casos de obras que não admitem acréscimo de deformação. Além disso, a execução da estaca precisa de equipamentos específicos e deixa a obra com muita lama (“obra suja”), conforme ilustrado na figura 2.2.



Figura 2.2: Estaca raiz sendo executada, ilustrando a sujeira da obra

## 2.2. Estacas tipo Mega

Também denominadas estacas prensadas ou de reação, as estaca tipo Mega são constituídas por elementos de concreto premoldados (armados ou protendidos) ou de aço (perfis, tubos etc.) ligados entre si por uma emenda especial. São cravadas no terreno por meio de um macaco hidráulico (cravação estática), que reage contra uma estrutura, um console, uma plataforma ou bloco de transferência construído para esse fim, ou a própria estrutura a ser reforçada. É comum, portanto, usar as vigas, paredes e lajes da estrutura do imóvel, nos locais de cravação, como ponto de apoio e reação para o avanço da cravação das estacas.

Estas estacas foram primeiramente empregadas por Estacas Franki (com o nome de Mega) para reforçar fundações existentes em virtude de deficiências de projeto ou execução, aumento de cargas ou escavações próximas. Porém, algumas condições de vizinhança (como construções precárias ou equipamentos sensíveis) em zonas urbanas podem levar ao uso de estacas prensadas como fundações normais (VELLOSO E CABRAL, 1982).

As estacas prensadas são usualmente cravadas continuamente até uma carga igual a uma vez e meia vezes a carga de trabalho. O processo de cravação é interrompido devido a duas limitações existentes: a altura do cilindro do macaco hidráulico e o tamanho do elemento de concreto ou aço a ser cravado.

Quando o cilindro do macaco atingiu o máximo, é necessário o alívio de carga do macaco, a retirada do cilindro e a colocação de calços (apoios de madeira) para ocupar o espaço vazio. Esses calços permitem que, ao recolocar o macaco, o mesmo possa reagir contra a estrutura, prensando a estaca contra o terreno. Dessa forma, eles ocupam o espaço vazio, até haver espaço suficiente para ser colocado outro segmento.

Por fim, é feito o calçamento, entre o topo do último segmento cravado e a estrutura da edificação, que consiste em colocar um elemento horizontal (em geral uma viga pré-moldada ou metálica) sobre a estaca, acionar um macaco de calçamento e colocar as cunhas sob pressão. Depois da retirada deste macaco de calçamento a estaca estará submetida a essa carga, que foi aplicada. Isto minimiza, ao máximo, a possibilidade de novos recalques nos locais de cravação. Na figura 2.2, observa-se uma estaca tipo Mega pronta, após calçamento.



Figura 2.2: Estaca tipo Mega pronta no Edifício Victoria em Pirituba/SP (INDAMEGA, 2013)

Por esse método executivo, a execução da Estaca tipo Mega pode ser considerada uma verdadeira prova de carga porque, através de leituras do manômetro devidamente aferido ou por células de carga, pode-se saber qual a carga que está sendo aplicada às fundações. Outra vantagem da sua execução, é que este tipo de estaca não se limita em profundidades específicas por questões executivas ou de transporte. A profundidade alcançada depende da resistência do solo e da estrutura na qual o equipamento vai reagir, além de um equipamento (macaco hidráulico) com capacidade de carga suficiente para a cravação. Além disso, a sua execução não compromete a utilização da edificação, não provoca nenhum tipo de vibração e ruído, pode ser feita em locais pequenos, com limitações de acesso de equipamentos, e não utiliza água nem lama (é uma “obra limpa”). Por último, é uma estaca que recebe o acréscimo de carga durante a cravação.

Entre as desvantagens, a principal é o seu custo bastante elevado, quando comparada a outras soluções. Além disso, observa-se que o método tem difícil aplicação fora da projeção da estrutura existente. Nesses casos, seria necessário utilizar uma plataforma especial para cravação da estaca, conforme desenvolvido por VELLOSO E CABRAL (1982).

### **3. ASPECTOS GERAIS DA REGIÃO ESTUDADA**

#### **3.1. Dados Históricos**

A Ilha da Cidade Universitária, amplamente conhecida como Ilha do Fundão, foi criada ao aterrar um arquipélago de oito ilhas na década de 1950. Essas oito ilhas, Cabras, Pindaí do Ferreira, Pindaí do França, Baiacu, Fundão, Catalão, Bom Jesus e Sapucaia, foram interligadas, conforme mostrado na figura 3.1, formando uma superfície de 5,6 milhões de metros quadrados, onde foi instalada a Cidade Universitária (ETUB, 1952).



Figura 3.1.: - Foto aérea do arquipélago antes e depois do processo de aterro que gerou a atual ilha do Fundão (VALENÇA, 2013).



Dentre os prédios da Cidade Universitária, destaca-se o Hospital Universitário Clementino Fraga Filho (HUCFF), projetado pela equipe do arquiteto Jorge Machado Moreira. A construção dessa grande estrutura de concreto armado com 220 mil m<sup>2</sup> começou por volta de 1950. Porém, devido a problemas financeiros e políticos, a obra foi paralisada duas vezes e só finalmente concluída em 1978 (UFRJ, 2013). As Figuras 3.2 e 3.3 apresentam o aspecto da obra durante a construção.



Foto 3.2: Fundações em sapatas do Hospital Universitário (antigo Hospital das Clínicas) em 1953 (UFRJ, 2013)



Foto 3.3: Obra do Hospital Universitário durante a construção (UFRJ, 2013)

O prédio do Hospital Universitário consiste de vários blocos, que são separados por juntas de dilatação, conforme pode ser observado na figura 3.4. Os blocos são AI, AII, AIII, AIV, AV, BI, BII, BIII, CI, CII e CIII. Convencionou-se chamar de Ala Norte os blocos AIII, AIV, AV, CI, CII E CIII e de Ala Sul os blocos AI, AII, BI, BII e BIII.

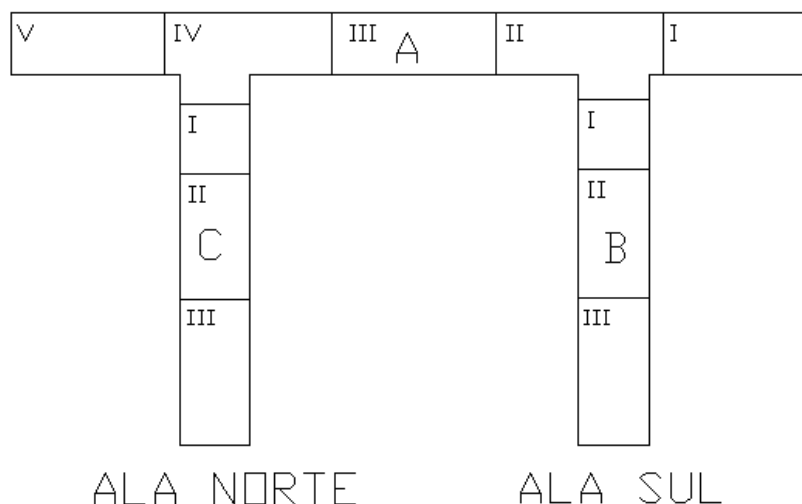


Figura 3.4: Esquema dos blocos do HUCFF

Porém, após a inauguração, apenas a Ala Norte do prédio foi ocupada. Devido ao abandono e falta de manutenção, após pouco mais de três décadas, em 21 de junho de 2010, dois pilares da área AIII romperam-se. Foi realizada então uma avaliação estrutural da Ala Sul pela Defesa Civil e engenheiros especialistas.

Em nota, em julho de 2010, o MEC (Ministério da Educação) anunciou o destino da Ala Sul (também chamado de perna seca) do Hospital Universitário: “Não resta alternativa a não ser a demolição da parte abandonada do complexo”. O diretor geral do HUCFF, José Marcus Eulálio, explica: “Nossa população tinha a expectativa de que a ‘perna seca’ do HU fosse recuperada. Mas a manutenção e a reforma do prédio custariam mais do que construir um novo hospital” (UFRJ, 2013).

Um esquema mostrando a área comprometida, que atingia até parte do bloco AIII, encontra-se na figura 3.5. A demolição consistia em duas partes: demolição manual (usando máquinas), mostrada na figura 3.6, para desconectar e deixar um espaço de 20 m entre a parte a ser implodida e o restante do prédio, e implosão, realizada no dia 19 de dezembro de 2010, mostrada na figura 3.7.

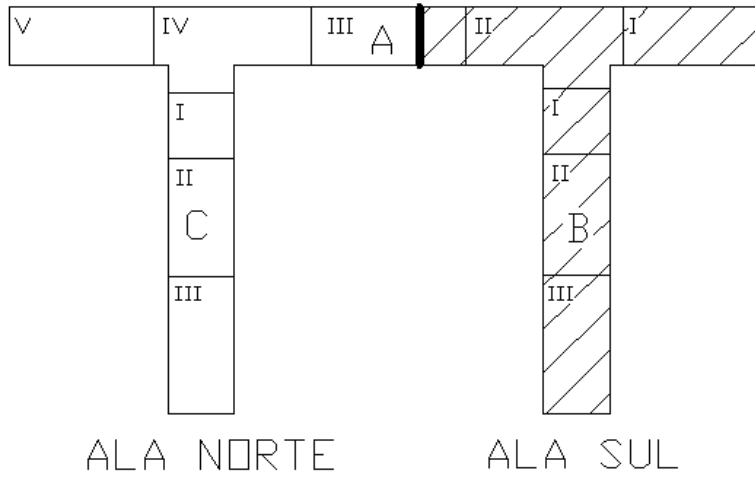


Figura 3.5: Esquema representando a área demolida com hachura



Figura 3.6: Demolição manual, a fim de separar área a ser implodida (UFRJ, 2013)



Figura 3.7: Implosão da Ala Sul do HUCFF

Após a implosão, observou-se surgimento de fissuras no bloco AIII, constatando-se, em seguida, movimentação desse bloco. Obras emergenciais de reforço tiveram que ser feitas em algumas fundações do bloco AIII do Hospital Universitário, de forma a minimizar os recalques apresentados. Foram feitos dois tipos de reforço: com estacas Raiz e com estacas tipo Mega. Durante as obras de reforço, foram observados recalques adicionais produzidos pelo processo executivo das estacas.

### **3.2. Aspectos Geológicos e Geotécnicos**

Conforme histórico relatado, a Cidade Universitária tem várias áreas de aterro. Os aterros, segundo ETUB (1952), são constituídos por recalque e dragagem das areias oriundas da Baía de Guanabara e por solos de alteração de gnaisses provenientes do desmonte de uma colina que existia na área do Hospital Universitário. Já as ilhas, segundo o mesmo trabalho, eram constituídas por afloramentos de gnaisses, mais ou menos decompostos, circundados de bancos de areias de extensões variáveis.

Segundo ETUB (1952), o subsolo estava sendo estudado na época, por meio de sondagens, pelo Instituto Nacional de Tecnologia. No eixo Fundão-Sapucaia, o subsolo apresentava-se essencialmente arenoso e areno-argiloso de compactidade crescente com a profundidade, observando-se ocorrências de lentes de argila rija e dura. Já no subsolo das ilhas de Bom Jesus e Sapucaia existiam sedimentos arenosos fofos, repousando sobre solos mais compactos, até um excelente solo de alteração de rocha. Foram observadas também, na ilha de Sapucália, áreas aterradas com lixo e áreas lodosas superficiais.

Ainda segundo ETUB (1952), o subsolo do setor médico (onde está instalado o Hospital Universitário) apresenta-se “imediatamente excelente”.

## **4. ASPECTOS ESPECÍFICOS DO BLOCO AIII**

A área remanescente do bloco AIII apresentou recalques significativos depois da implosão e precisou ser reforçada. Apresenta-se, na figura 4.1, um esquema com os pilares remanescentes do bloco AIII, já que parte do bloco foi demolida (a implosão não foi feita na junta entre os blocos).

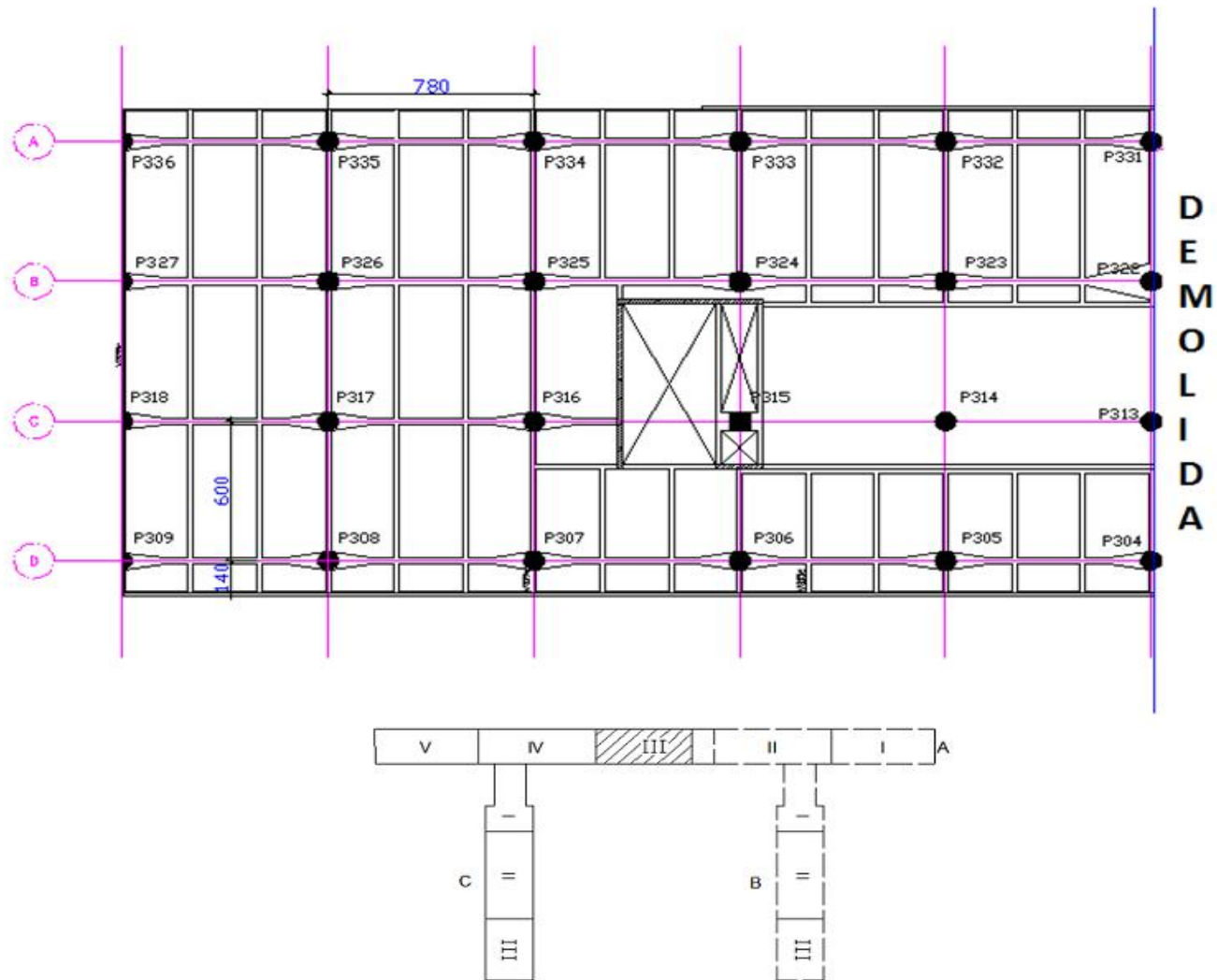


Figura 4.1: Pilares Remanescentes do Bloco AIII

#### **4.1. Subsolo da área**

Após a constatação dos danos no hospital que se sucederam a implosão, foram realizadas sondagens a percussão na região do bloco AIII do Hospital Universitário pela empresa Geologus. As sondagens foram realizadas junto aos pilares P305, P323, P331, P332, P333, P334, P335 e P336, a partir da laje do subsolo, sendo admitida cota zero para esse nível. A partir das sondagens realizadas, foram traçados dois perfis, mostrados nas figuras 4.2 e 4.3.

Observou-se que a classificação do solo não foi realizada adequadamente pela empresa Geologus. Os boletins de sondagem obtidos falam de “solo residual argiloso, siltooso, arenoso micáceo, cinza”. Essa classificação não foi feita conforme padronizado pela NBR 6502/95. A presente autora, que conheceu o solo local observando-o durante algumas escavações na área e execução dos reforços, considerou solo residual areno-argiloso.

Observa-se também nas sondagens realizadas uma pequena espessura de aterro seguido por uma camada de solo residual areno-argiloso até o impenetrável. O impenetrável apresentou-se, em média, à profundidade 20,70 m.

## PERFIL GEOTÉCNICO SEÇÃO P332-P323-P314-P305

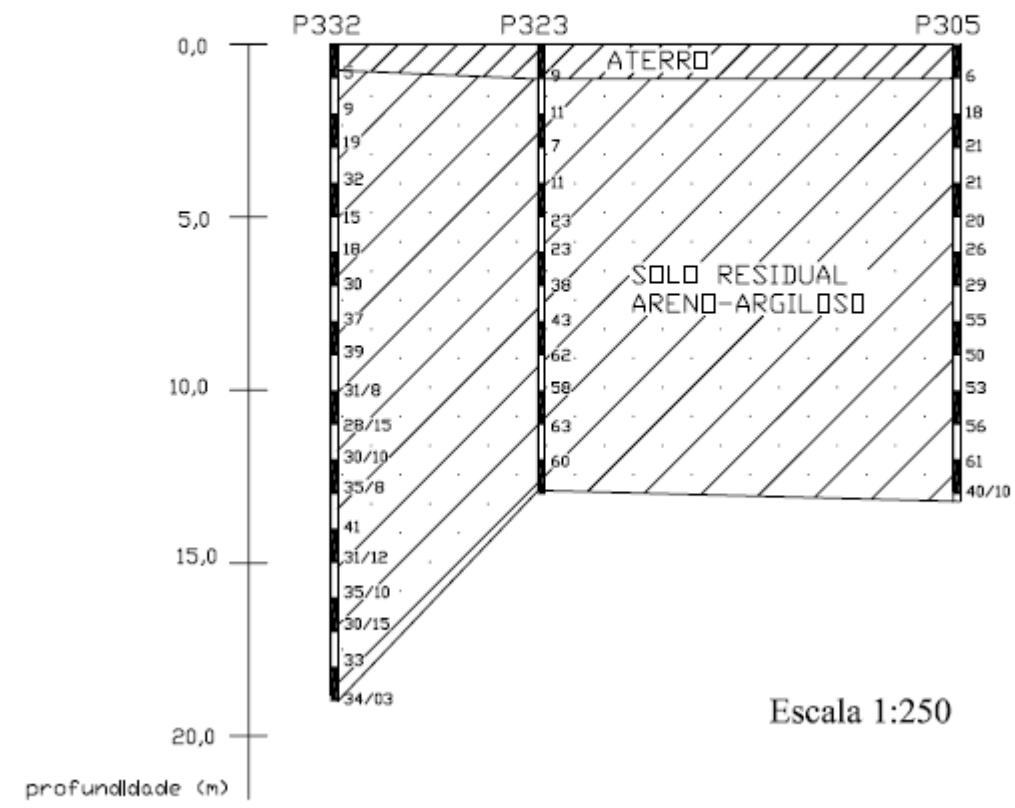


Figura 4.2: Perfil Geotécnico ao longo das sondagens realizadas junto aos pilares P332, P323 e P305

**PERFIL GEOTÉCNICO**  
**SEÇÃO P336-P335-P334-P333-P332-P331**

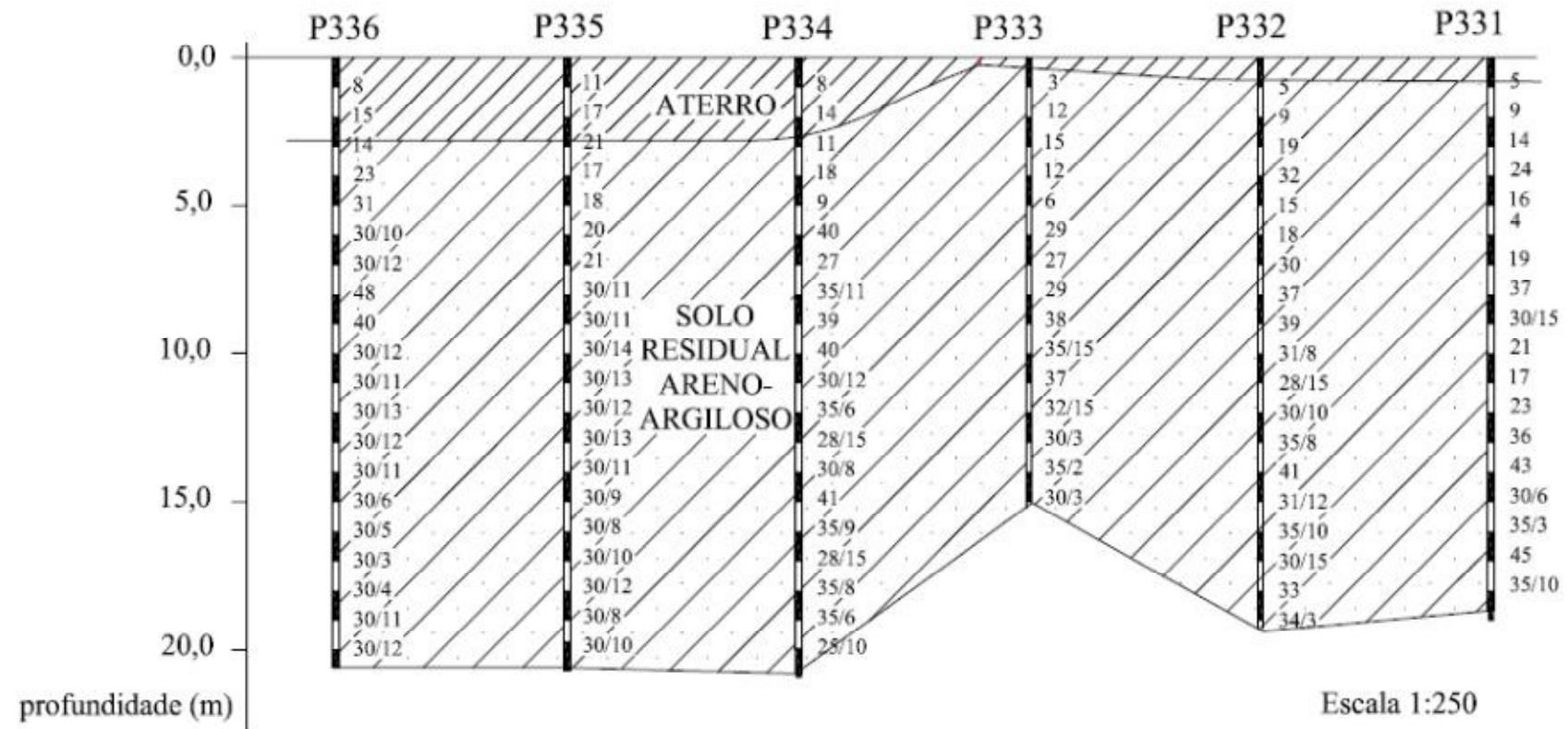


Figura 4.3: Perfil Geotécnico ao longo das sondagens realizadas junto aos pilares P336, P335, P334, P333, P332 e P331



## 4.2. Fundações da área AIII

As fundações originais do bloco AIII do HUCFF são sapatas de formato octogonal, cujas plantas são apresentadas nas figuras 4.4 a 4.6. As dimensões das sapatas variam conforme a linha em que se encontram (ver figura 4.1).

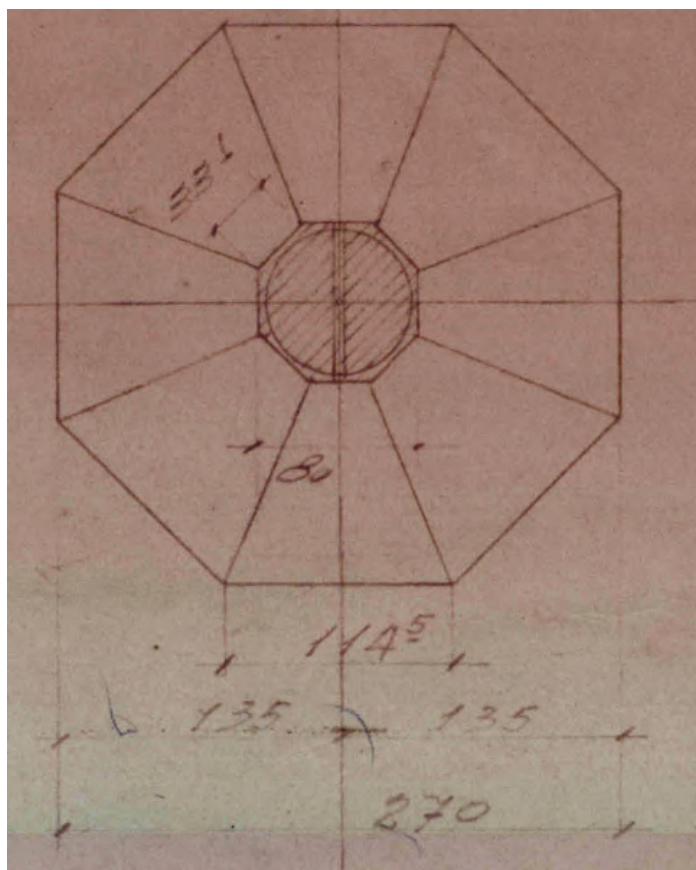


Figura 4.4: Planta das sapatas das linhas A e D (Fonte: Acervo do Núcleo de Pesquisa e Documentação – FAU/UFRJ – BRASIL)

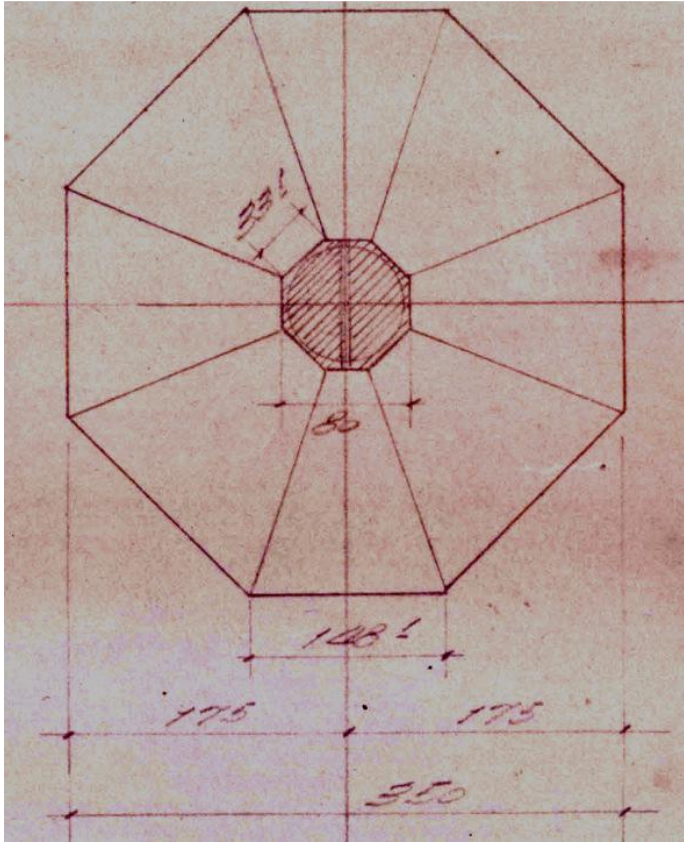
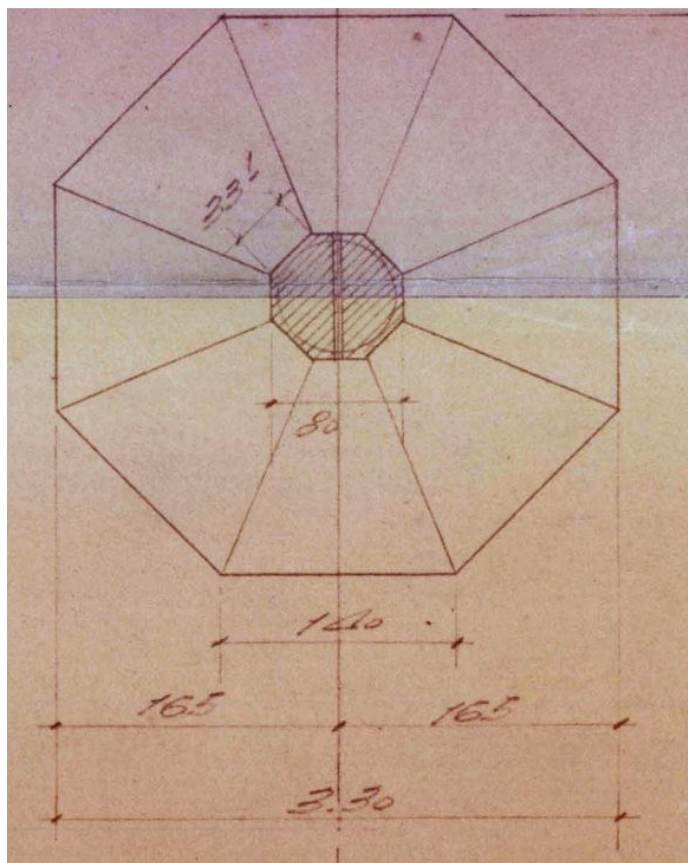


Figura 4.5: Planta das sapatas da linha B (Fonte: Acervo do Núcleo de Pesquisa e Documentação – FAU/UFRJ – BRASIL)



Projeto 4.6: Planta das sapatas da linha C (Fonte: Acervo do Núcleo de Pesquisa e Documentação – FAU/UFRJ – BRASIL)

Quanto à profundidade de assentamento das sapatas, elas variam de acordo com a posição em que as mesmas se encontram. As sapatas das três linhas de pilares mais próximas à parte demolida têm profundidade de assentamento de 1,20 m, enquanto as três linhas mais próximas da junta de dilatação estão assentadas a 1,00 m. Essa cota refere-se ao nível do terreno do subsolo onde foi executada a sondagem. Pelo perfil geotécnico da região, as sapatas estão assentadas em solo residual arenoso.

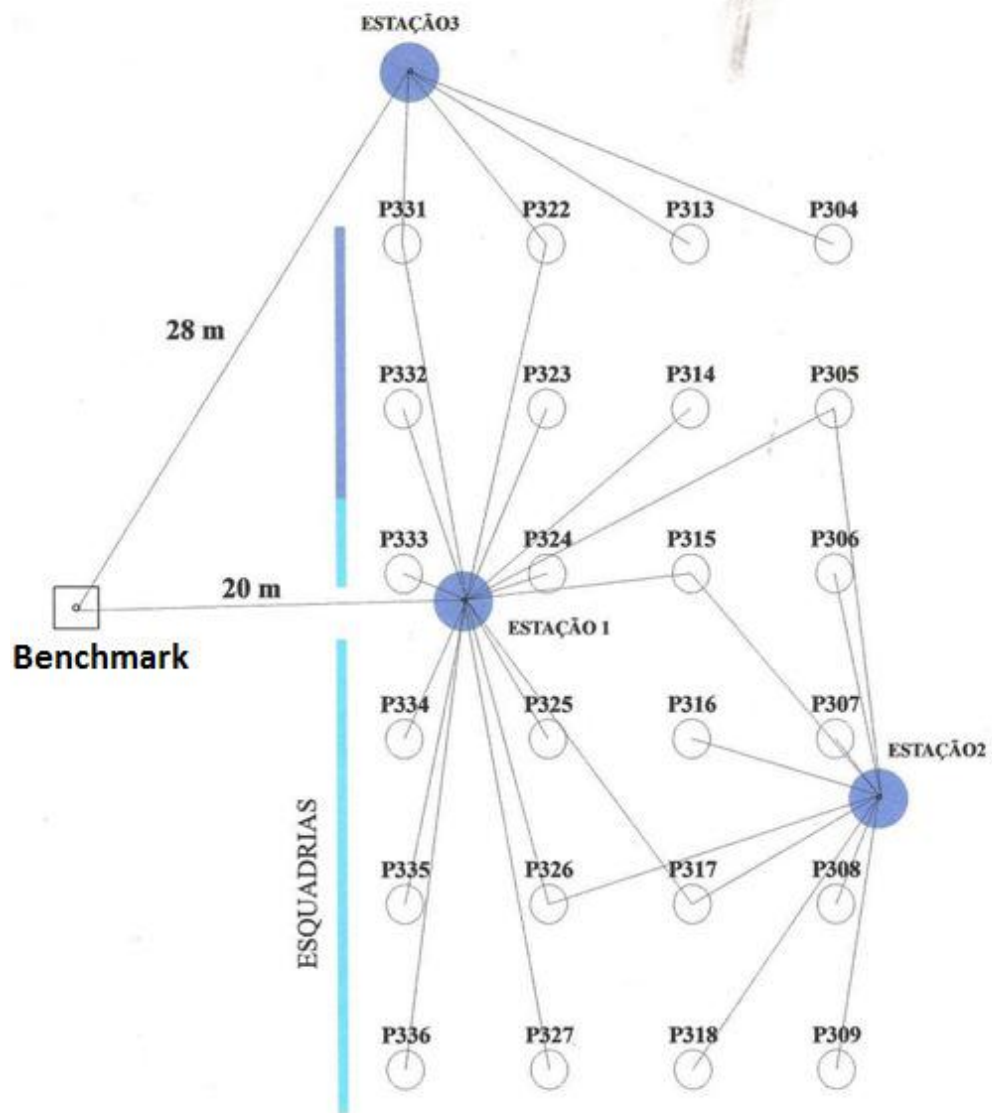
### 4.3. Medição de Recalques

Após a constatação de problemas na estrutura, implantou-se um sistema de monitoramento de recalques na área do bloco AIII. Foram instalados nos pilares vinte e quatro pinos metálicos (um por pilar), no nível do pavimento subsolo. A referência de nível utilizada foi um *benchmark* instalado a 14,2 m de profundidade e com cota

altimétrica arbitrada em 20 m. Foram utilizados um nível Wild NAK-2, micrômetro com sensibilidade de 0,05 mm, uma mira de ínvar de 1 m e uma haste metálica para apoio da mira (GOLÇALVEZ, 2012).

Foram realizadas leituras diárias, a partir de 30 de setembro de 2011. No início, apenas quatro pilares foram monitorados (P332, P314, P305 e P323). Em 06 de outubro de 2011, outros oito pinos foram instalados (P331, P322, P313, P304, P333, P324, P315 e P306). No início de novembro de 2011, os outros pinos foram instalados, totalizando 24 pinos, que permitiram o monitoramento de todo bloco AIII.

As estações foram cuidadosamente posicionadas, de modo a favorecer as leituras diretas e visadas curtas. Um esquema do nivelamento com a posição dos pilares monitorados é apresentado na figura 4.7. Observa-se que a visada mais longa é a visada do benchmark a partir da estação 3 e são feitas leituras diretas em 18 dos 24 pilares monitorados. Dessa forma, o erro detectado nas leituras de campo é de  $\pm 0,5$  mm, devido às condições da medida, variações de temperatura (a que o bench-mark está submetido) e erros aleatórios (diferença observada nas leituras na mesma condição).



4.7: Esquema de nivelamento dos pilares da área AIII (GONÇALVEZ, 2012)

#### 4.4. Cargas nos pilares

As cargas atuantes nos pilares foram estimadas pelo escritório estrutural JC FILIZOLA ENGENHARIA, sendo os valores apresentados na tabela 4.1. Essas cargas foram obtidas a partir de uma modelagem espacial no programa ROBOT, considerando-se peso próprio, carga de revestimento de  $1,50 \text{ kN/m}^2$ , carga de alvenaria distribuída de  $1,00 \text{ kN/m}^2$  e carga variável de  $3,00 \text{ kN/m}^2$ , que foi reduzida a partir do 4º piso abaixo da cobertura conforme a norma NBR 6120/80, obtendo-se uma carga média por andar de  $2 \text{ kN / m}^2$ .

Tabela 4.1: Cargas nos Pilares, valores obtidos por JC FILIZOLA ENGENHARIA (2012)

Pilar	Carga (kN)		Pilar	Carga (kN)
304	3.271		322	3.273
305	5.724		323	7.085
306	5.612		324	6.779
307	5.642		325	6.595
308	5.596		326	6.269
309	3.805		327	3.967
313	3.550		331	3.562
314	6.927		332	5.665
315	6.660		333	5.288
316	5.085		334	5.130
317	6.393		335	5.155
318	4.058		336	3.722

## 5. PROCESSO EXECUTIVO DOS SERVIÇOS DE REFORÇO

### 5.1. Estaca Raiz

Inicialmente, o projeto de reforço consistia na execução de seis estacas raiz para cada pilar, dispostas conforme figura 5.1. Cada estaca tem diâmetro nominal de 410 mm e comprimento de 16 m. Cada estaca tinha carga de trabalho de 1.000 kN. Seu processo executivo consistia em escavação, concretagem e armação.

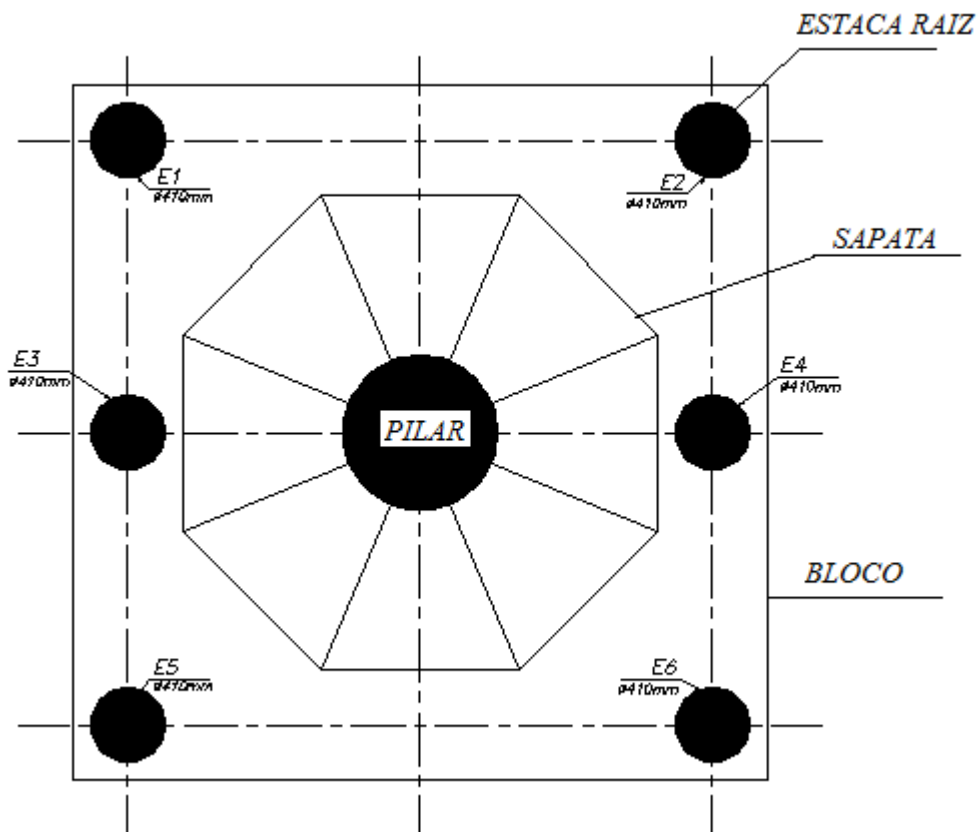


Figura 5.1: Projeto de reforço com seis estacas raiz por pilar – vista superior

A figura 5.2 ilustra o equipamento usado na execução das estacas raiz nos pilares P332, P314, P305 e P323.



Figura 5.2: Perfuratriz munida de revestimento, utilizada na execução da estaca raiz

Em relação ao procedimento usual (descrito no item 2.1), a armadura precisava ser emendada cinco vezes para atingir a profundidade requerida, devido às limitações de pé direito. Posicionada a armadura, era realizada a injeção (concretagem submersa) de uma argamassa traço em volume de 1:4,5:1,3 (cimento:areia:água).

Por último, era construído um bloco, interligando as estacas com o a sapata e o respectivo pilar, conforme mostrado na figura 5.3.

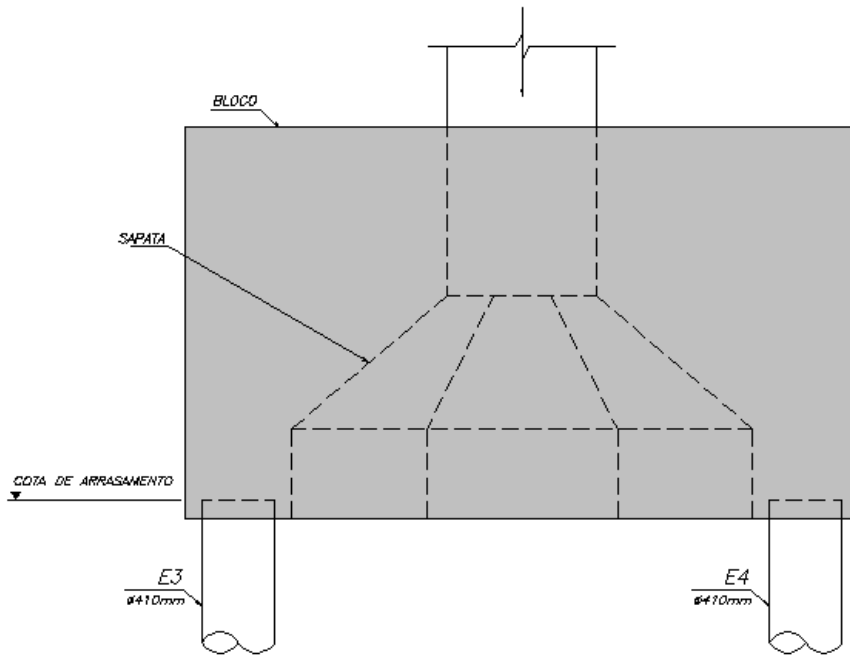


Figura 5.3: Bloco interligando as estacas com a sapata e o pilar – vista lateral.

Dois pilares, P332 e P314, foram reforçados dessa forma. As seis estacas foram executadas para reforço do pilar 332 na seguinte ordem: E3, E5, E6, E4, E2 e E1. Já para reforço do pilar 314, foram executadas as estacas E2, E4, E6, E1, E3 e E5, nessa ordem. Observaram-se recalques significativos durante a execução destes.

Posteriormente, numa tentativa de diminuir os recalques, admitindo-se que as estacas tinham diâmetro elevado, a solução foi modificada: utilizaram-se oito estacas raiz de 310 mm, dispostas conforme mostrado na figura 5.4. Cada estaca tinha carga de trabalho de 750 kN.



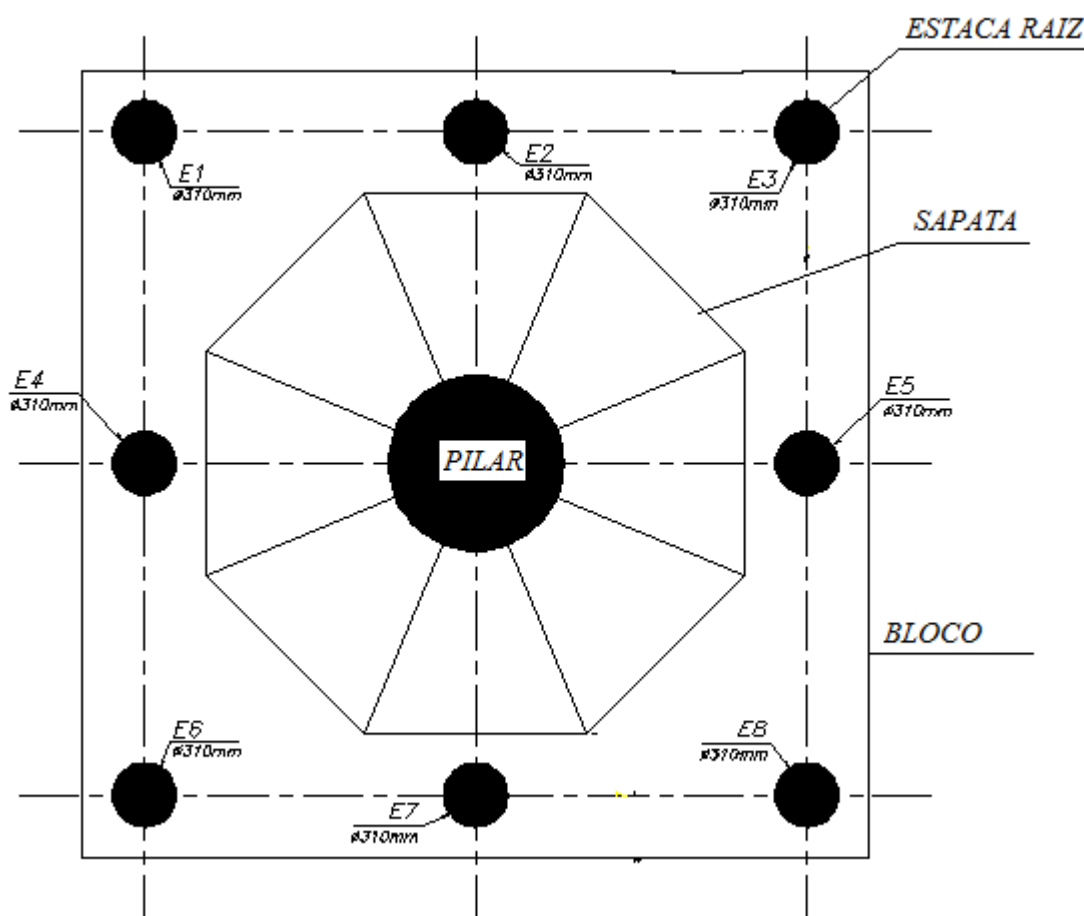


Figura 5.4: Projeto de reforço com oito estacas raiz – vista superior

O processo executivo também foi alterado, empregando-se ar comprimido ao invés de água na sua execução. As outras etapas foram mantidas. Os pilares P323 e P305 foram reforçados com esse projeto. Para o pilar 323, as estacas foram executadas na seguinte ordem: E2, E8, E1, E6, E3, E5, E4 e E7. Já para o P305, a ordem de execução foi a seguinte: E1, E8, E2, E7, E3, E6, E5 e E4. Os recalques continuaram em uma velocidade elevada, o que contribuiu para a mudança de processo executivo do reforço.

## 5.2. Estaca tipo Mega

Ao serem executados os reforços nos pilares P332, P334, P323 e P305, observou-se que os recalques apresentados durante a execução das estacas raiz eram superiores aos desejáveis. Então, na busca da minimização dos recalques, optou-se por mudar

completamente a solução para estacas tipo Mega. O projeto do reforço em estacas tipo Mega está apresentado na figura 5.5. A solução consiste no emprego de duas estacas tipo Mega por pilar, perfis WP-200-53 (cujas propriedades estão incluídas na tabela 5.1), com uma carga de cravação de 900 kN cada uma. A NBR 6122 prevê a possibilidade de adotar um fator de segurança de 1,5 para o caso das estacas tipo Mega (para as outras estacas, o fator de segurança mínimo é 2,0), já que o processo executivo da mesma é uma prova de carga.

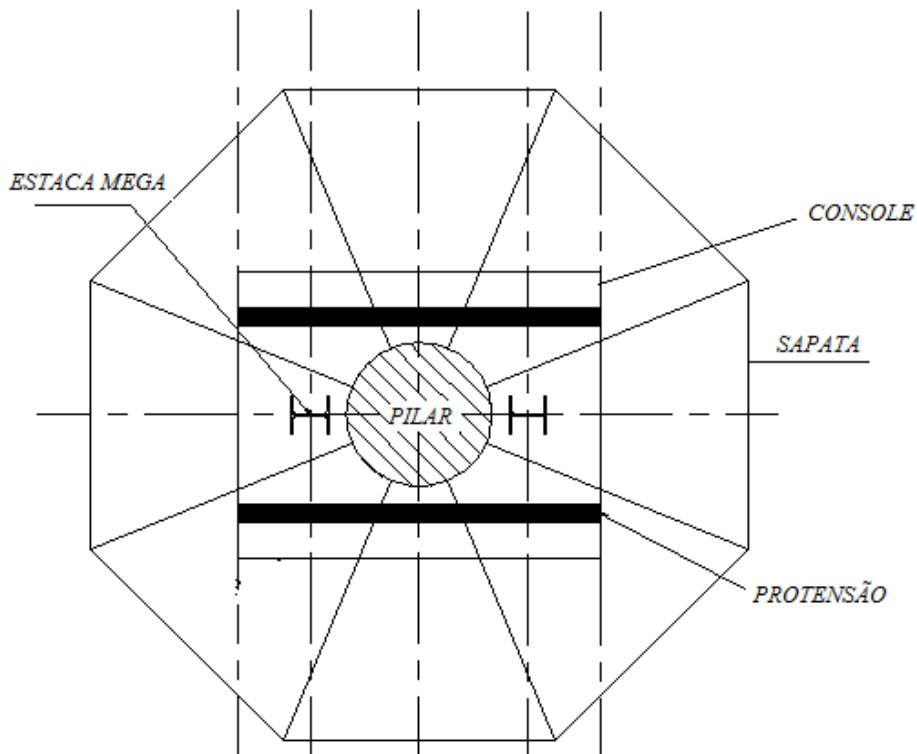


Figura 5.5: Projeto do Reforço com Estaca tipo Mega – vista superior

Tabela 5.1: Propriedades do Perfil WP 200x53

WP 200x53	Massa Linear (kg/m)	Área (cm <sup>2</sup> )	d (mm)	b (mm)	t <sub>w</sub> (mm)	t <sub>f</sub> (mm)	h (mm)	d' (mm)
	53,5	68,1	204	207	9	14,5	428	404
	I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> )	W <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> )	r <sub>x</sub> (cm)	Z <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> )	I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	W <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> )	r <sub>y</sub> (cm)	Z <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> )
	33415	1462	18,77	1657	1673	162	4,96	249

Para execução do reforço com estaca tipo Mega, eram inicialmente executados dois furos na sapata existente (fundação original do prédio) de diâmetro de 12 polegadas (30,4 cm), usando o equipamento de execução da estaca raiz com coroa diamantada. Além disso, era construído um console contra o qual o macaco iria reagir (figura 5.6). O console foi projetado para suportar uma carga de trabalho de 1.000 kN.

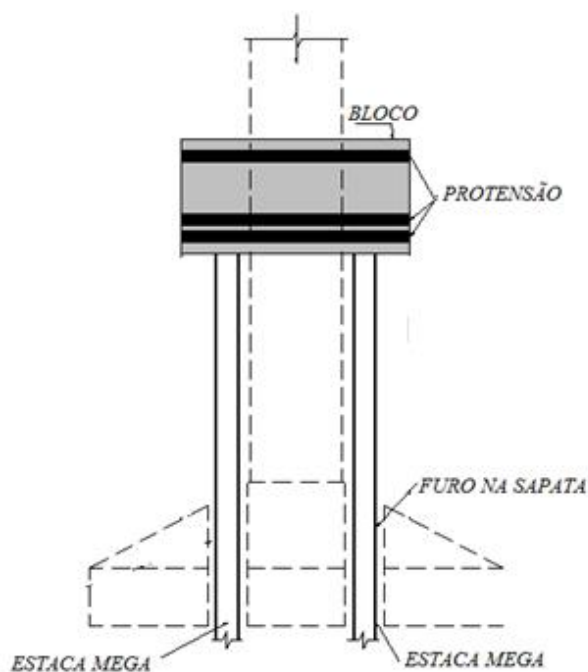


Figura 5.6: Console do reforço com estacas tipo Mega

O processo executivo consistia na cravação estática dos elementos pelos furos na sapata, sendo que os dois perfis eram cravados ao mesmo tempo para evitar momento adicional no pilar. O primeiro elemento tinha 3,00 m de comprimento (altura livre acrescida da altura da sapata, aproximadamente), enquanto os demais tinham 1,50 m (altura livre aproximada). A cravação era realizada com dois macacos, ligados pela mesma bomba, apoiados no perfil, conforme mostrado na figura 5.7. Como o cursor do macaco tinha apenas 17 cm, era necessário interromper a cravação no momento que o cursor do macaco atingisse seu máximo, recolher o pistão do macaco, colocar apoios entre o macaco e o perfil metálico, e retomar a cravação.

Cada elemento era soldado no elemento inferior, com auxílio de talas (conforme mostrado na figura 5.8). Os perfis eram submetidos a uma carga de até 900 kN para a cravação. Durante a cravação, era acompanhado o andamento do cilindro do macaco hidráulico e eram feitas anotações de carga aplicada e deslocamento do pistão. Além

disso, no início e final de cada ciclo de cravação (do perfil de 1,50 m), eram feitas leituras de recalques.



Figura 5.7: Execução das Estacas tipo Mega



Figura 5.8: Talas utilizadas para soldar os perfis

Quando não era mais observada a movimentação do pistão, a carga de 900 kN era mantida por 15 minutos, aproximadamente, para confirmar a ausência de movimento. Então, iniciava-se a fase de encunhamento. Sobre o perfil, era posicionada uma viga metálica e, sobre a viga, as cunhas e o macaco, conforme mostrado na figura 5.9. O encunhamento era feito com uma carga de 600 kN (fator de segurança de 1,5 em relação a carga de cravação), colocando-se as cunhas sob pressão. Então, o macaco era retirado e as cunhas soldadas uma nas outras e no perfil. Por fim, os furos eram grauteados para recomposição da sapata e consolidação da estaca tipo Mega.



Figura 5.9: Estaca metálica depois de executado o encunhamento

Esse tipo de reforço foi executado nos pilares P331, P322, P313, P304, P333, P324, P315 e P306. Dessa forma, os recalques originados pela execução dos reforços diminuíram sensivelmente.

## **6. ANÁLISE DOS RECALQUES MEDIDOS**

Conforme já mencionado, a implosão foi feita em 19 de dezembro de 2010 e o monitoramento iniciou-se a partir de 30 de setembro de 2011 na linha reforçada pelas estacas raiz e a partir de 06 de outubro de 2011 nas linhas reforçadas pelas estacas tipo Mega. Além disso, o processo de reforço dos pilares começou no dia 14 de setembro, ainda antes de começar o monitoramento. Dessa forma, houve um lapso de tempo em que os recalques não foram observados. Porém, foram observados os recalques durante o reforço de várias fundações.

### **6.1. Recalques durante o reforço por estaca raiz**

A execução das seis estacas raiz do reforço do P332 foi feita entre os dias 14 de setembro a 29 de setembro, sendo que o bloco de coroamento foi concretado no dia 10 de outubro. O monitoramento começou durante a execução desse reforço (no dia 30 de setembro) e, assim, os recalques durante a execução das estacas raiz para esse pilar não

foram medidos. Porém, no período de execução do bloco observou-se um recalque total de 3 mm. O recalque, no final de novembro (cerca de dois meses depois da conclusão do seu reforço), chegou a 10 mm. Depois disso, os recalques variaram mais lentamente, chegando a 12 mm em abril.

O pilar P314 teve suas estacas executadas entre os dias 05 de outubro e 22 de outubro e seu bloco de coroamento concretado no dia 28 de outubro. Observou-se que durante a execução das estacas os recalques atingiram 5 mm e, durante a execução do bloco, mais 2,5 mm. Até o final de novembro, esses recalques atingiram 11 mm. Depois disso, os recalques variaram mais lentamente, chegando a 14 mm em abril.

Já as oito estacas raiz do reforço do P323 foram executadas entre os dias 29 de outubro e 1 de novembro, e o bloco de coroamento foi concretado no dia 13 de novembro. Até o momento de início do reforço desse pilar, este já tinha recalcado cerca de 4 mm (desde o início do monitoramento, dia 30 de setembro). Durante a execução da estaca raiz, foi observado um acréscimo de 3 mm a esses recalques e, até a conclusão da construção do bloco, esses recalques atingiram 10 mm (acrécimo de 3 mm nessa fase). Depois disso, até o final de novembro, ainda foram observados recalques que atingiram 12 mm. Se forem considerados os recalques até abril, chegaram a 14 mm, variando mais lentamente nesse tempo.

As estacas do último pilar dessa linha, o P305, foram executadas entre 4 de novembro a 9 de novembro e seu bloco de coroamento foi concretado no dia 15 de novembro. Desde o dia 30 de setembro até o momento de início do reforço desse pilar, este já tinha recalcado 7,6 mm. Durante a execução da estaca raiz, foi observado um acréscimo de 4,3 mm a esses recalques e, até a conclusão da construção do bloco de coroamento, esses recalques atingiram 14,5 mm (acrécimo de 2,6 mm nessa fase). Depois disso, até o final de novembro, ainda foram observados recalques atingindo 15 mm. Se forem considerados recalques até abril, chegaram a 17,5 mm, variando muito lentamente nesse tempo.

Todos os recalques citados estão relacionados na tabela 6.1.

Tabela 6.1: Resumo dos Recalques nos pilares P332, P314, P323 e P305

Pilar	Recalques (mm)			
	Antes do reforço	Execução das estacas	Bloco de Coroamento	Após o reforço (até abril)
P332	-	-	3	9
P314	0	5	2,5	6,5
P323	4	3	3	4
P305	7,6	4,3	2,6	3

Os pilares reforçados apresentaram recalques significativos (de 3 a 5 mm) durante a execução das estacas. Esses recalques podem ser devidos à descompressão do solo causada pela execução das estacas raiz.

O pilar P314 teve recalques maiores, mas podem ter acontecido devido ao grande período de tempo (17 dias) durante o qual estavam sendo executadas as estacas raiz desse reforço, já que os pilares P323 e P305 tiveram suas estacas executadas em tempo menor (5 dias, no máximo). Além disso, o processo executivo do reforço do P314 (com seis estacas, usando circulação de água) foi diferente do P323 e P305 (com oito estacas, usando ar comprimido). Essa mudança pode ter afetado os recalques, mas não existem dados suficientes para se separar os dois efeitos (de tempo e da metodologia do reforço).

Em todos os pilares, houve incrementos de recalques significativos durante a execução do bloco de coroamento. O período de tempo entre a finalização das estacas e a concretagem do bloco varia muito de pilar para pilar. Durante esse tempo, as estacas ainda não estariam sob carga, já que ainda não teriam sido incorporadas à estrutura. Então, o tempo seria o fator preponderante para determinar o recalque nessa fase, já que as fundações ainda não estariam reforçadas.

Além disso, observaram-se incrementos de recalques mesmo depois do pilar estar reforçado. Esse efeito ocorre devido à necessidade da estaca raiz deslocar-se para

mobilizar sua resistência. Conforme já observado por LOPES (1986), a estaca raiz precisa deslocar-se para absorver carga.

A figura 6.1 mostra a evolução dos recalques nos pilares da primeira linha, reforçados com estaca raiz até o final de novembro, onde foram observados recalques mais significativos. Observa-se uma tendência de estabilização desses pilares no final de novembro. Esses recalques foram acompanhados até abril, mas não são observadas grandes velocidades de recalque nesse tempo, conforme citado acima.



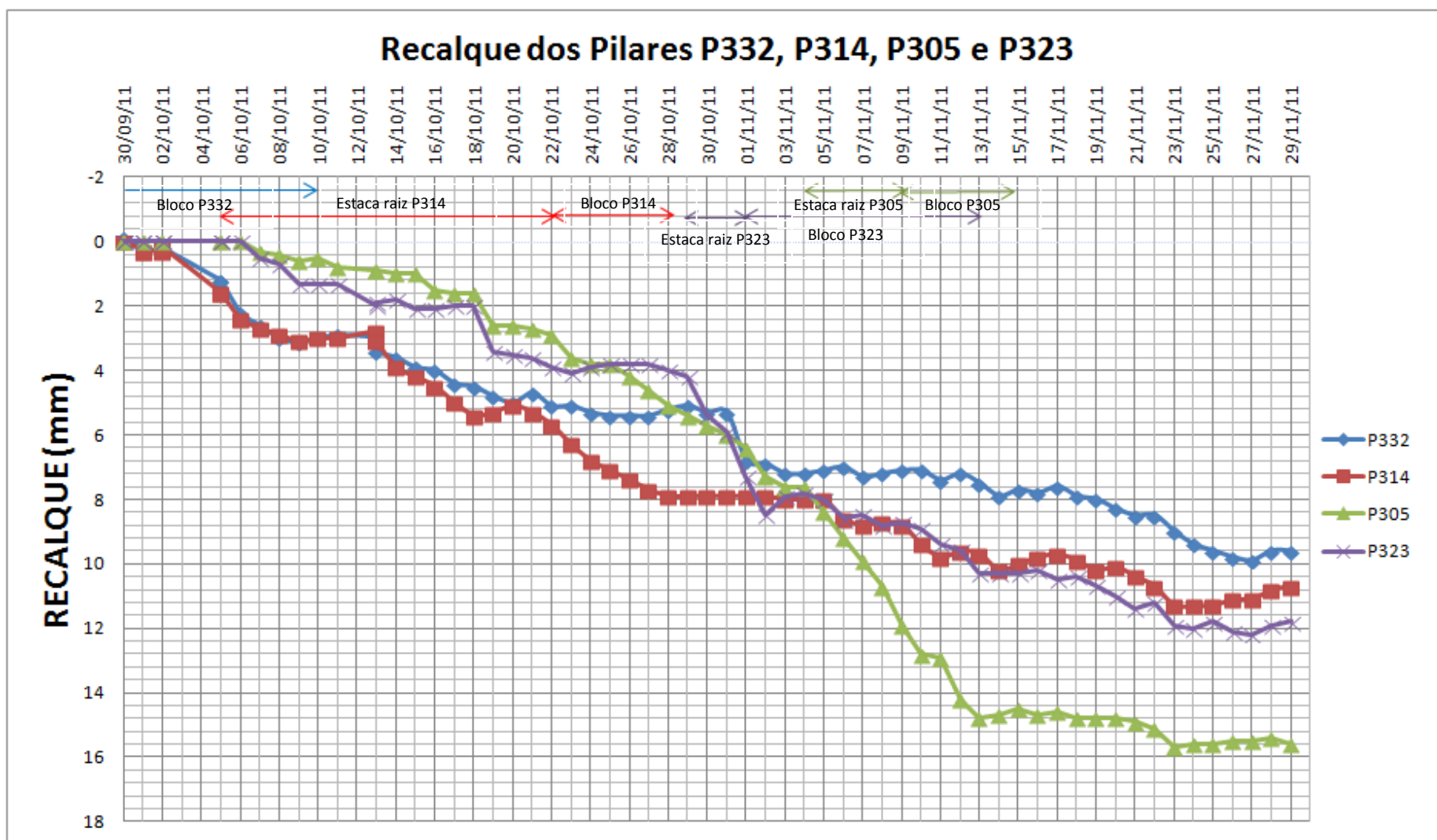


Figura 6.1: Recalque dos Pilares P332, P314, P305 e P323, reforçados com estacas raiz

## **6.2. Recalques durante o reforço por estaca tipo Mega**

Os reforços dos demais pilares foram feitos com estacas tipo Mega. O reforço do pilar P333 começou no dia 16 de janeiro de 2012, com a perfuração da sapata. O console foi executado e a cravação foi feita do dia 26 de janeiro ao dia 28 de janeiro. Até o momento de execução do reforço desse pilar, o mesmo já tinha recalçado 11 mm, contados a partir de 6 de outubro de 2011 (quando começou o monitoramento desse pilar). Durante a execução do console, não foram observados recalques, porém constatou-se, logo depois da cravação, um recalque adicional de 2 mm. Depois disso, nas medições realizadas até abril, não foram observados recalques.

Da mesma forma, a sapata do P315 foi perfurada no dia 30 de janeiro, tendo a cravação das estacas tipo Mega ocorrido nos dias 6, 7 e 8 de fevereiro. Desde o início da medição até o momento da execução do reforço desse pilar, o mesmo já tinha recalçado 13 mm. Durante a execução do console, não foram observados recalques, porém constatou-se, logo depois da cravação, um recalque adicional de 0,8 mm. A cravação nesse pilar foi cuidadosamente acompanhada pela topografia e comentar-se-á adiante sobre esses recalques. Depois disso, até o mês de abril, as leituras estabilizaram e não houve recalques adicionais.

No dia 9 de fevereiro, a sapata do P324 foi perfurada e, enquanto estava sendo executado o console, no dia 11 de fevereiro, a sapata do P306 foi perfurada. As estacas tipo Mega do P324 foram cravadas no dia 14 de fevereiro e a do P306 entre os dias 15 e 17 de fevereiro. O P324 já tinha recalçado 12 mm antes de começar o reforço e o P305 já tinha recalçado 14,5 mm. Não foram observados recalques durante a execução do console em nenhum dos dois casos. Depois da cravação das estacas tipo Mega do P324 foi medido um recalque adicional de 1,5 mm, e no P305 um recalque adicional de 1,6 mm. As cravações das estacas tipo Mega desses pilares também foram cuidadosamente acompanhadas pela topografia e comentar-se-á adiante esses recalques. Depois da execução do reforço até o mês de abril, não foram observados recalques adicionais em nenhum desses pilares.

A tabela 6.2 resume os recalques citados. A figura 6.2 mostra a evolução dos recalques, desde o início da medição, de uma linha de pilares onde o reforço foi feito com estacas tipo Mega, tendo sido na figura 6.3 ampliado o período de reforço dos pilares citados.

Tabela 6.2: Resumo dos recalques medidos do P333, P315, P324 e P305

Pilar	Recalques (mm)			
	Antes do Reforço	Execução do Console	Durante o reforço (medido após a execução do mesmo)	Depois do reforço
P333	11	0	2	0
P315	13	0	0,8	0
P324	12	0	1,5	0
P305	14,5	0	1,6	0

A outra linha de pilares reforçada com estacas tipo Mega (P331, P313, P322 e P304) não teve acompanhamento topográfico durante a cravação. As leituras de recalque foram realizadas, mas o espaçamento entre elas era maior (cerca de uma semana). Dessa forma, não é possível se definir exatamente os recalques associados a cada etapa, conforme feito acima. Dessa forma, apenas serão relacionados os recalques acontecidos antes do reforço e as leituras observadas depois do reforço.

Nos dias 5 e 6 de março, a sapata do P331 foi perfurada, sendo que a cravação das estacas tipo Mega ocorreu entre os dias 15 e 17 de março. Antes do reforço, a sapata já tinha recalcado 15 mm (desde o início das medições). Porém, depois do reforço, as leituras se mantiveram em torno de 15 mm, indicando que não houve recalques adicionais.

No dia 8 de março, a sapata do P313 foi perfurada, e a cravação das estacas tipo Mega ocorreu entre os dias 20 e 21 de março. Antes do reforço, a sapata já tinha recalcado 18 mm. Depois do reforço, mediu-se recalque de 20 mm, ou seja, o reforço induziu recalques de cerca de 2 mm.

Nos dias 17 e 18 de março, a sapata do P322 foi perfurada, sendo que a cravação das estacas tipo Mega ocorreu entre os dias 28 e 30 de março. Antes do reforço, a sapata já tinha recalcado 17 mm. Depois do reforço, mediu-se recalque de 18,5 mm, ou seja, o reforço induziu recalques de cerca de 1,5 mm.

No dia 28 de março, a sapata do P304 foi perfurada, e a cravação das estacas tipo Mega ocorreu entre os dias 3 e 4 de abril. Antes do reforço, a sapata já tinha recalçado 21,5 mm. Depois do reforço, mediu-se recalque de 22,5 mm, ou seja, o reforço induziu recalques de cerca de 1 mm. Porém, é interessante observar que a sapata vinha recalcando significativamente até o momento em que foi executado o reforço, tendo-se observado uma estabilização.

A Tabela 6.3 resume os recalques dessa última linha e a figura 6.4 mostra a evolução dos recalques nessa última linha descrita.

Tabela 6.3: Resumo dos recalques do P331, P313, P322 e P304

Pilar	Recalques (mm)	
	Antes do Reforço	Durante o reforço (observados após a execução)
P331	15	0
P313	18	2,0
P322	17	1,5
P304	21,5	1,0

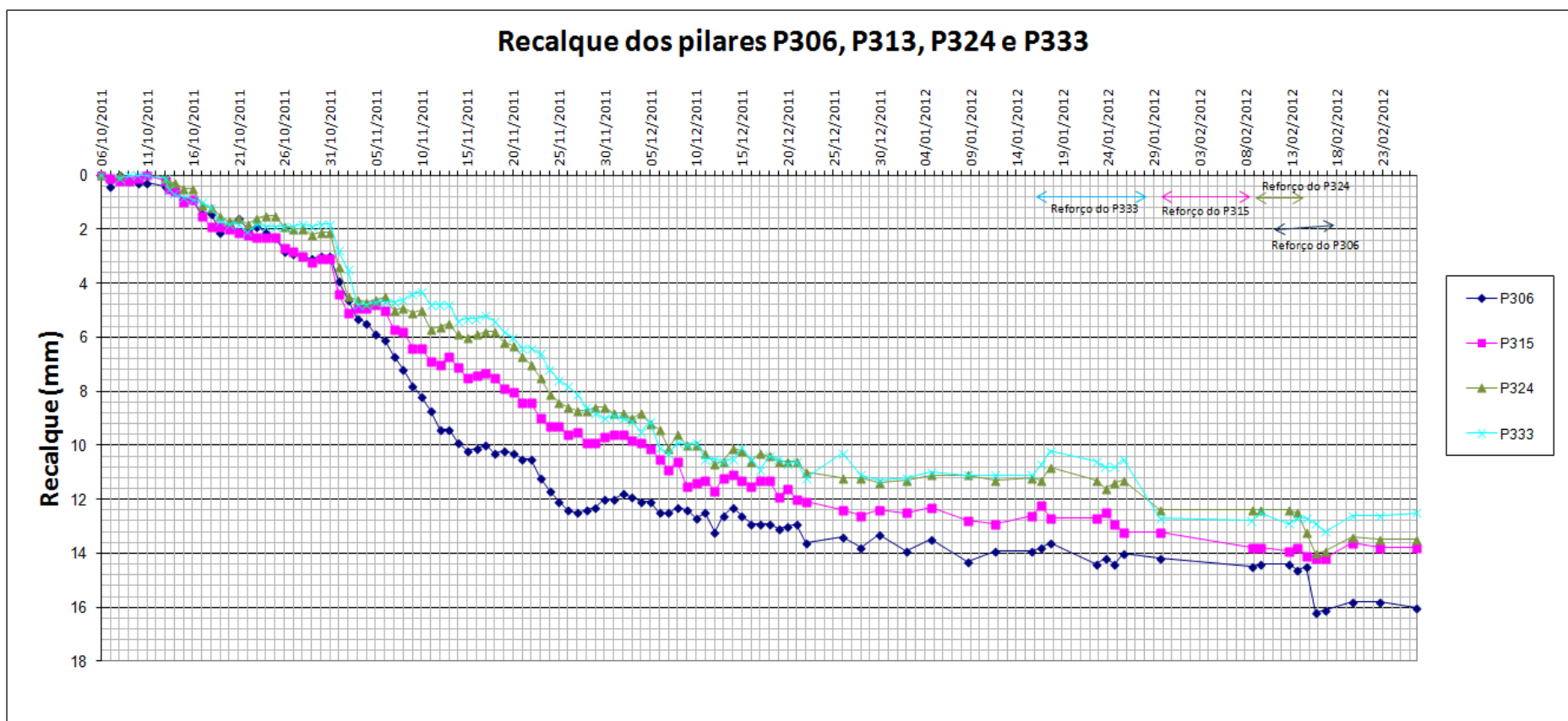


Figura 6.2: Monitoramento de recalque dos pilares P306, P313, P324 e P333, reforçados com estacas tipo Mega

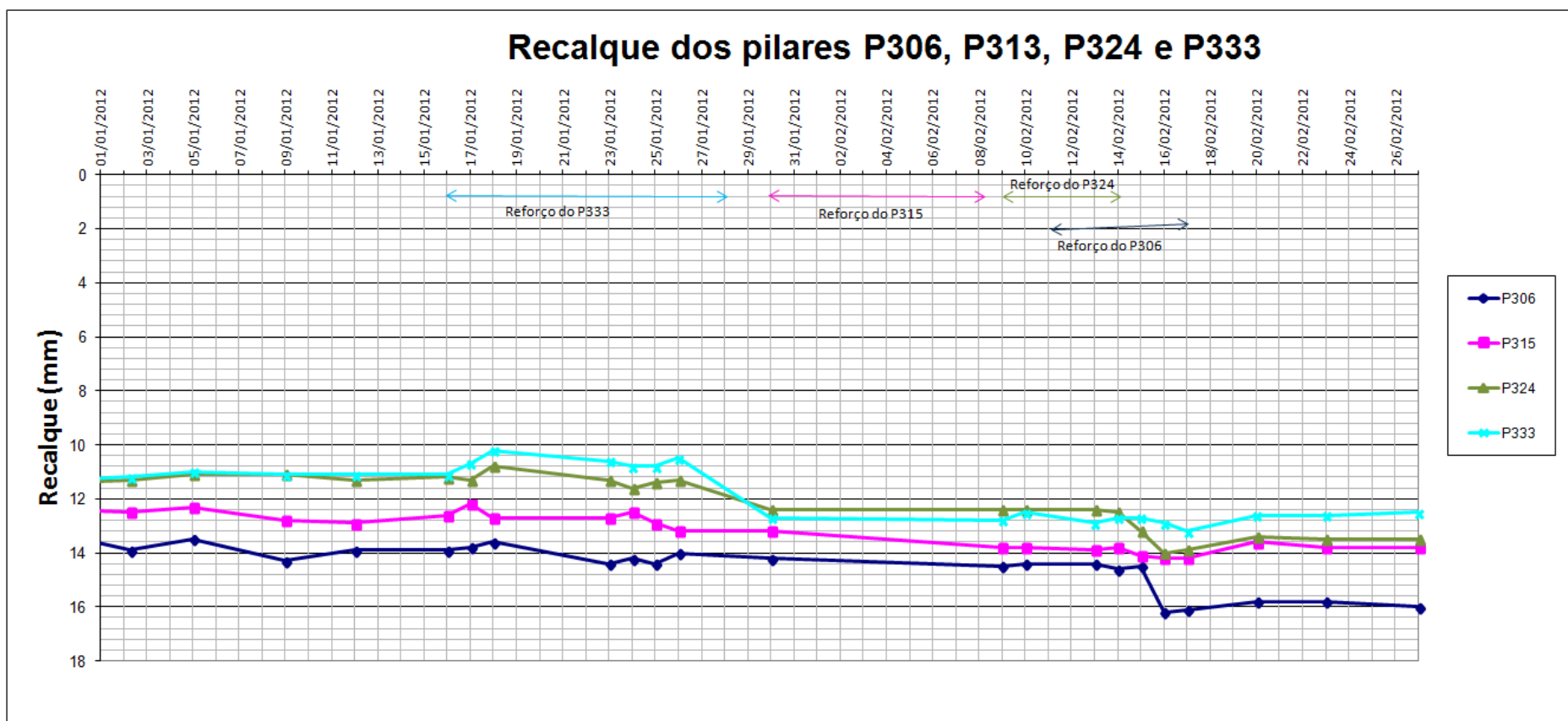


Figura 6.3: Monitoramento de recalques dos pilares P306, P315, P324 e P333, reforçados com estacas tipo Mega

## GRÁFICO DOS PINOS

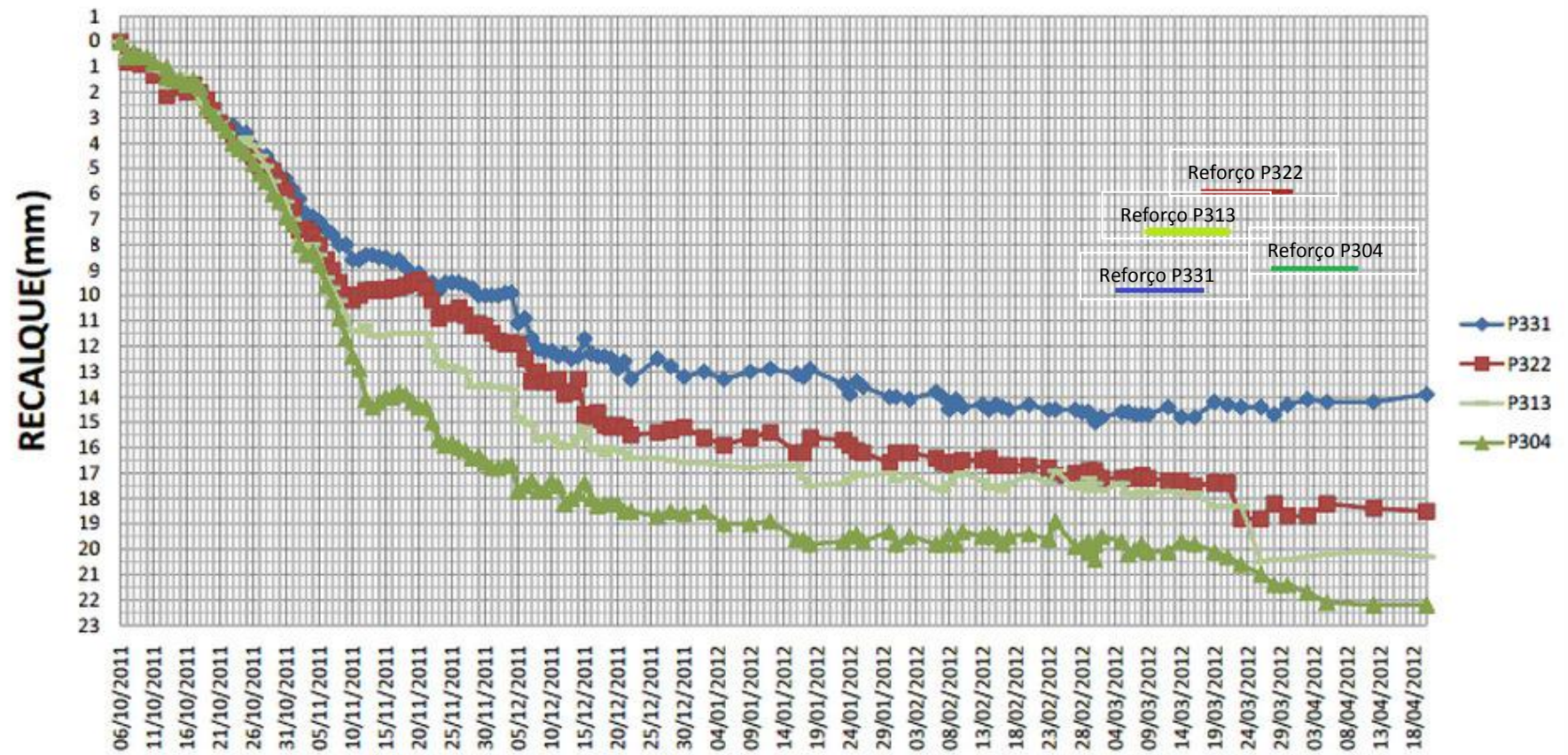


Figura 6.4: Recalque da linha de pilares P331, P322, P313 e P304

Para se entender melhor o processo, nos pilares P324, P315 e P306 foram medidos os recalques durante a cravação das estacas tipo Mega, em diferentes ocasiões. A estaca tipo Mega é submetida a ciclos de carregamento e descarregamento durante a execução. Cada vez que um segmento de estaca é cravado, a reação necessária para a cravação provoca um alívio de carga na sapata. Durante a interrupção da cravação para acréscimo de novo segmento, a sapata recebe novamente todo o carregamento do pilar.

Foram analisadas as movimentações durante a cravação das estacas tipo Mega dos pilares P324, P315 e P306. As medidas foram realizadas em situações de carga máxima aplicada nos macacos, anteriormente à etapa de solda, e logo após a retirada do macaco para realizar-se a solda. Também foram anotados os valores dessa carga máxima no macaco. Com a estimativa de carga na sapata, apresentada na tabela 4.1, pode-se estimar a carga na sapata em cada estágio, pela subtração de duas vezes a carga obtida no macaco hidráulico (de vez que as duas estacas são cravadas simultaneamente). Esses valores estão apresentados nas tabelas 6.1, 6.2 e 6.3. Os valores de recalque apresentados foram medidos ao final de cada ciclo e tem como referência a posição do pilar imediatamente antes de começar a cravação. Cabe salientar que, na verdade, entre duas etapas de solda, existem em torno de 10 ciclos de carregamento e descarregamento, comandados pelo comprimento do pistão do macaco (devido à necessidade de se tirar o macaco e colocar calços). Porém, não foram tomadas medidas de recalque intermediárias, nas operações de troca dos calços do macaco ao final de seu curso. Considera-se, então, cada ciclo de carregamento correspondente à cravação do segmento inteiro (de 1,5 m), entre duas soldas.



Tabela 6.1: Medidas de recalque durante a cravação das estacas do P324

Carga no Macaco (kN)	Carga na Sapata (kN)	Recalque (mm)
0,0	6.779	0,0
469	5.841	0,4
0,0	6.779	0,3
951	4.876	0,8
0,0	6.779	0,7
800	5.179	0,9
0,0	6.779	1,2
827	5.124	1,0
0,0	6.779	1,5
951	4.876	1,1
0,0	6.779	1,6
1.034	4.710	1,1
0,0	6.779	1,7
1.000	4.779	0,5
0,0	6.779	1,4

Tabela 6.2: Medidas de recalque durante a cravação das estacas do P315

Carga no Macaco (kN)	Carga na Sapata (kN)	Recalque (mm)
0	6.660	0,0
276	6.109	0,1
0,00	6.660	0,0
552	5.557	0,1
0,0	6.660	0,0
0,0	6.660	0,7
965	4.730	-0,2
0,0	6.660	0,4
965	4.730	0,0
0,0	6.660	0,8
1.008	4.644	-0,2
0,0	6.660	0,5

Tabela 6.3: Medidas de recalque durante a cravação das estacas do P306

Carga no Macaco (kN)	Carga na Sapata (kN)	Recalque (mm)
0	5.612	0,0
372	4.868	0,4
0	5.612	0,5
496	4.619	0,7
0	5.612	0,8
855	3.902	0,4
0	5.612	1,1
1.007	3.599	0,3
0	5.612	1,2
0	5.612	1,6
1.048	3.516	0,5
0	5.612	1,7
1.041	3.52	0,2
0	5.612	1,4

A Figura 6.4 apresenta as curvas carga na sapata vs. recalque no pilar P324. O gráfico apresenta sete ciclos de redução e acréscimo de carga. Em cada ciclo é apresentada uma estimativa dos carregamentos atuantes na sapata. Esta estimativa foi obtida, conforme já citado, utilizando-se como carga inicial de projeto de 6.779 kN (tabela 4.1), e reduzindo-a pela subtração do somatório das cargas medidas nos macacos hidráulicos (dois macacos com a mesma carga), conforme tabela 6.1. Também são apresentados os recalques medidos no início e no final da cravação de cada segmento de estaca tipo Mega (com 1,5 m de comprimento).

Percebe-se que, a despeito da redução de carga na sapata (devida às primeiras três operações de cravação), ocorreram recalques. A partir do quarto ciclo, os alívios de carga estão associados a levantamentos da fundação.

Nos dois primeiros ciclos de recarregamento da sapata (associados ao alívio de carga no macaco), foram observados levantamentos. Entretanto, a partir do terceiro ciclo de recarregamento da sapata, a tendência se inverte, observando-se recalques.

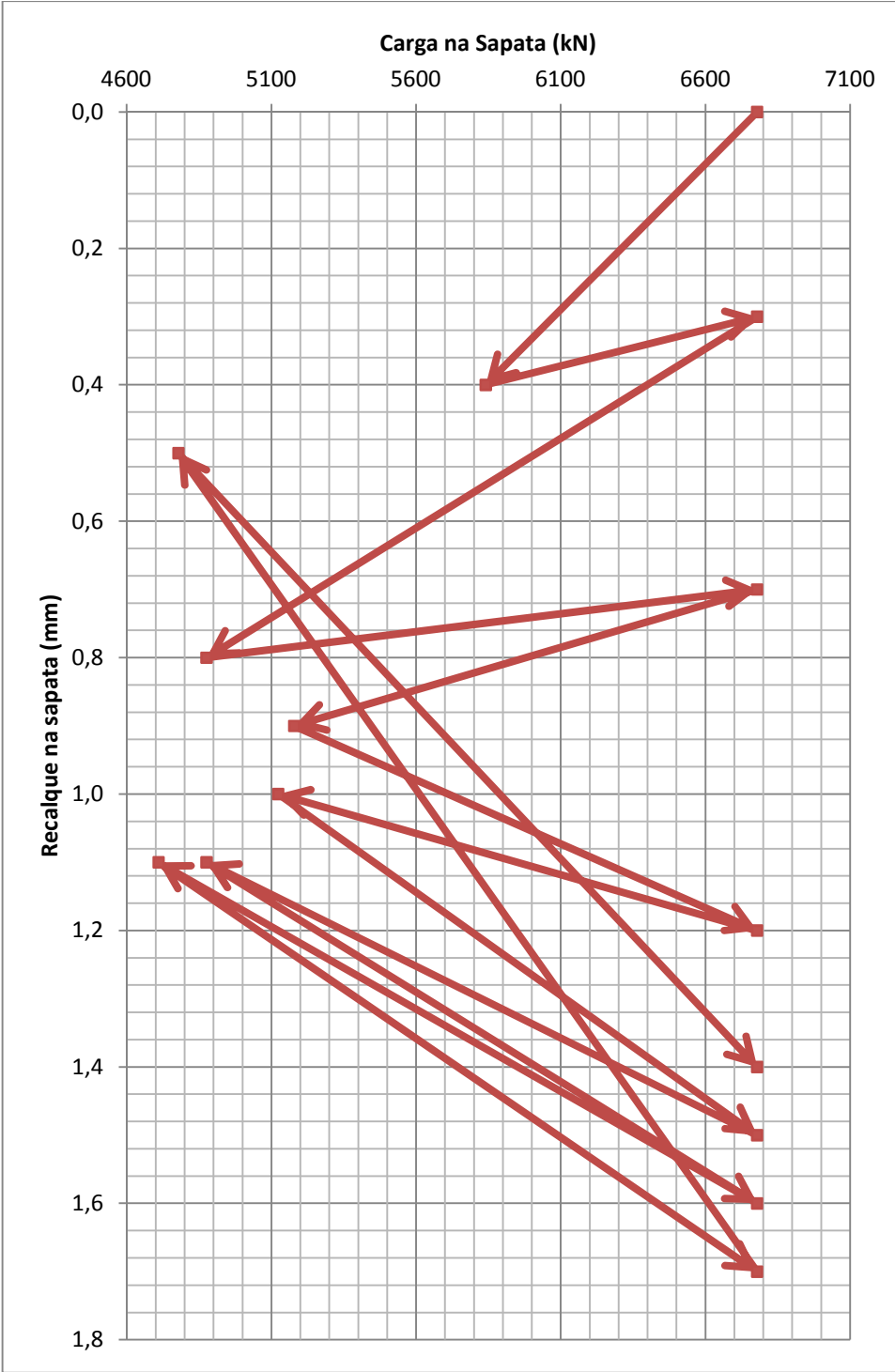


Figura 6.4: Gráfico de Carga na Sapata x Recalque do P324

A Figura 6.5 apresenta as curvas carga na sapata vs. recalque no pilar P315. O gráfico apresenta cinco ciclos de redução e acréscimo de carga. Em cada ciclo é apresentada uma estimativa dos carregamentos atuantes na sapata. Esta estimativa foi obtida, conforme já citado, utilizando-se como carga inicial de projeto de 6.660 kN (tabela 4.1), e reduzindo-a pela subtração do somatório das cargas medidas nos macacos hidráulicos (dois macacos com a mesma carga), conforme tabela 6.2. Também são apresentados os recalques medidos no início e no final da cravação de cada segmentos de estaca tipo Mega (com 1,5 m de comprimento).

A cravação nessa estaca foi feita em três dias. No primeiro dia, a cravação foi interrompida logo depois de executada a segunda solda. Nas duas primeiras operações de cravação, percebe-se que, a despeito da redução de carga na sapata, ocorreram recalques. E, além disso, observa-se que durante esses dois primeiros ciclos, o recarregamento da sapata (associados ao alívio de carga no macaco) causou recuperação total dos recalques sofridos (levantamentos).

Então, depois da segunda operação de alívio de carga do macaco, a operação foi interrompida (em torno das 20 hs) e retornada no dia seguinte (em torno das 09hs). A leitura do dia seguinte, ainda sem carga no macaco, acusou um recalque de 0,7 mm.

A partir da terceira operação de cravação (realizada no segundo dia de cravação), os alívios de carga na foram associados a levantamentos da fundação. E a partir da terceira operação de recarregamento da sapata (ou seja, alívio de carga no macaco), observaram-se recalques. Nesse caso, a tendência foi invertida no terceiro ciclo de carregamento.

O último ciclo de carregamento e descarregamento (ciclo 5) foi executado no terceiro dia. Porém, a leitura (sem carga no macaco) não apresentou alterações entre o segundo dia e o terceiro dia.

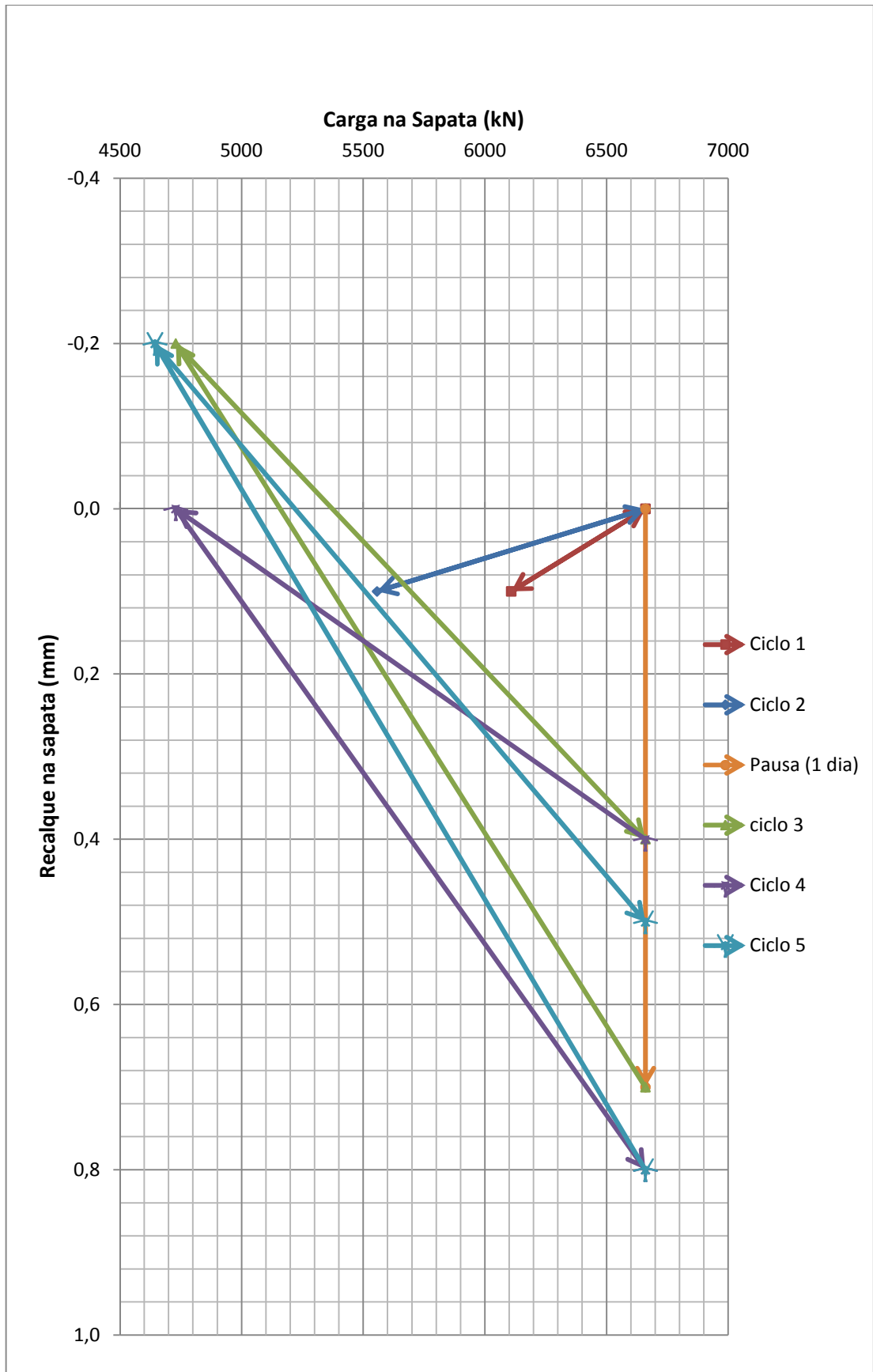


Figura 6.5: Gráfico de Carga na Sapata x Recalque no P315

A Figura 6.6 apresenta as curvas carga na sapata vs. recalque no pilar P306. O gráfico apresenta seis ciclos de redução e acréscimo de carga. Em cada ciclo é apresentada uma estimativa dos carregamentos atuantes na sapata. Esta estimativa foi obtida, conforme já citado, utilizando-se como carga inicial de projeto de 5.612 kN (tabela 4.1), e reduzindo-a pela subtração do somatório das cargas medidas nos macacos hidráulicos (dois macacos com a mesma carga), conforme tabela 6.3. Também são apresentados os recalques medidos no início e no final da cravação de cada segmento de estaca tipo Mega (com 1,5 m de comprimento).

A cravação nessa estaca foi feita em dois dias. No primeiro dia, a cravação foi interrompida logo depois de executada a quarta solda. Nas duas primeiras operações de cravação, percebe-se que, a despeito da redução de carga na sapata, ocorreram recalques. A partir da terceira operação de cravação, os alívios de carga na sapata foram associados a levantamentos. Nesse caso, a tendência foi invertida no terceiro ciclo de carregamento.

Nesse caso, observa-se que o recarregamento da sapata (associados ao alívio de carga no macaco) está associado a recalques em todos os ciclos. Porém, nos dois primeiros ciclos, esses recalques são bem menores (0,1 mm) que os recalques a partir da terceira etapa de recarregamento (0,7 mm).

Depois da quarta operação de alívio de carga do macaco, a operação foi interrompida (em torno das 22 hs) e retomada no dia seguinte (em torno das 11hs). A leitura do dia seguinte, ainda sem carga no macaco, acusou um recalque de 0,4 mm. O quinto e sexto ciclos apresentaram a mesma tendência observada a partir do terceiro ciclo: alívios de carga na sapata associados a levantamentos e recarregamentos associados a recalques.

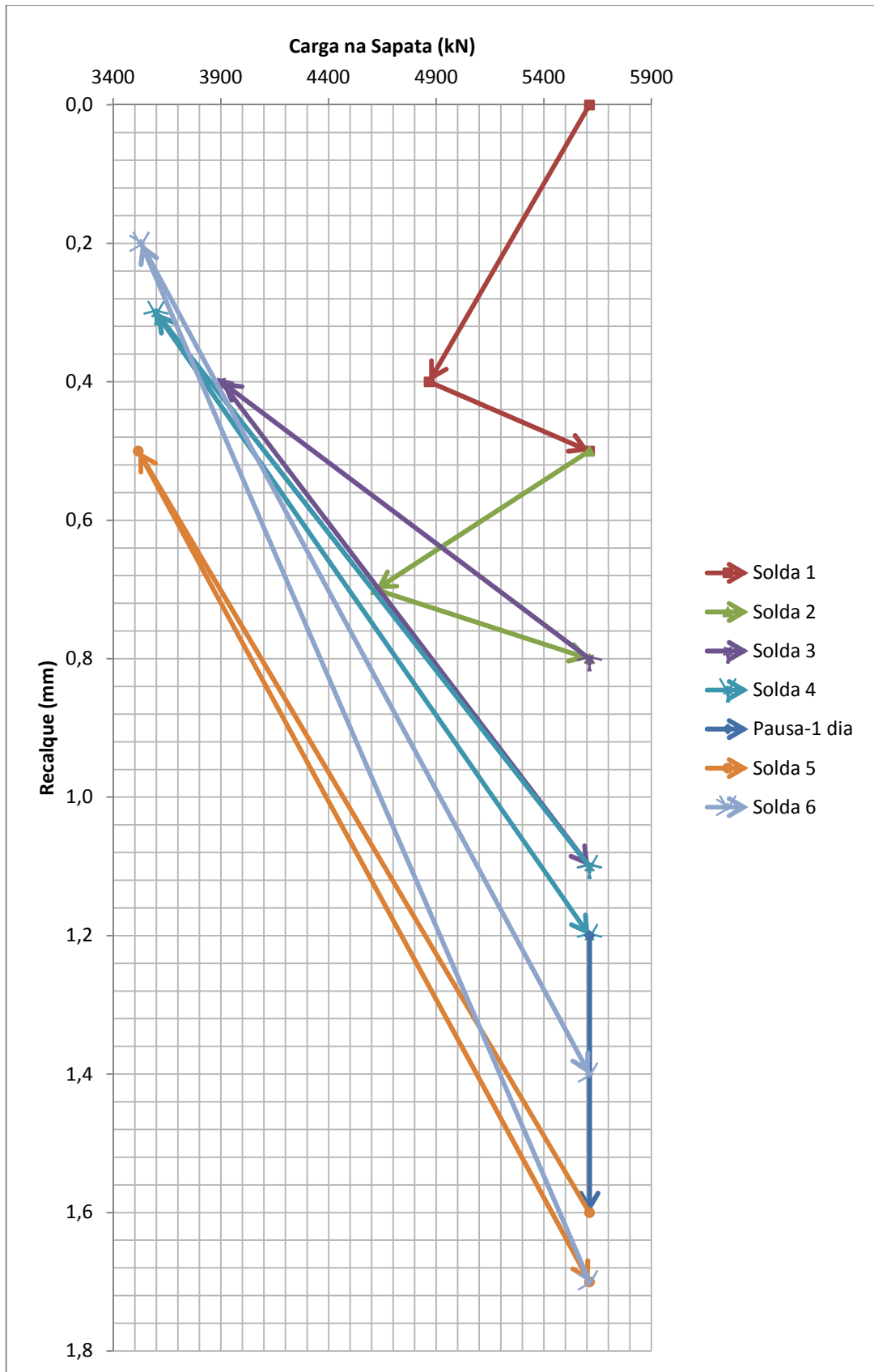


Figura 6.6: Gráfico de Carga na Sapata x Recalque no P306

Pode-se então concluir as seguintes tendências de comportamento:

### 6.2.1. COMPORTAMENTO DURANTE A CRAVAÇÃO DAS ESTACAS TIPO MEGA:

Quando se aplica carga nos macacos, para cravação das estacas tipo Mega, alivia-se a carga na sapata. O comportamento esperado seria o levantamento da sapata, em todos os casos. Entretanto, durante o início do processo (até o segundo ou terceiro ciclos de cravação), observou-se recalques nas sapatas.

Este comportamento pode ser explicado pela hipótese de que existem dois fatores contrários interferindo no recalque da sapata. Isoladamente, o alívio de carga provoca uma tendência de levantamento da sapata. Entretanto, é preciso considerar que as estacas estão sendo cravadas através do solo que sustenta as sapatas. Esta cravação tende a provocar recalques neste solo, devido ao acréscimo de tensões geradas pelas estacas, inclusive causando sua plastificação. A Figura 6.7 apresenta um esquema idealizado do comportamento do solo próximo ao fuste de uma estaca durante a cravação. A Figura 6.8 apresenta um esquema idealizado da cravação do par de estacas tipo Mega utilizado para reforçar cada sapata do HUCFF.

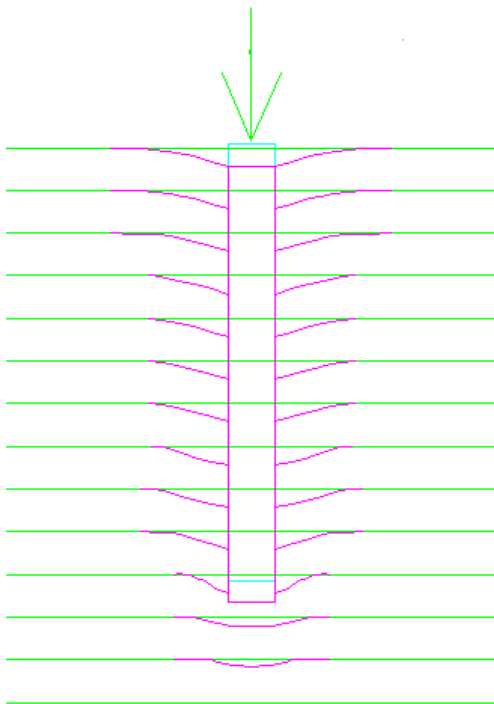


Figura 6.7: Esquema idealizado do comportamento do solo próximo ao fuste de uma estaca durante a cravação



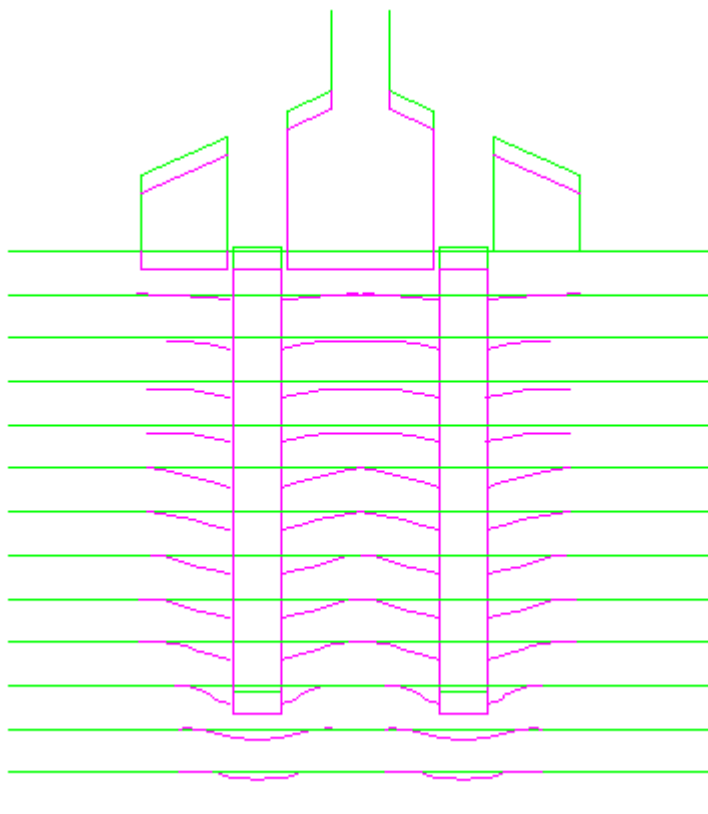


Figura 6.8: Esquema idealizado da cravação das estacas tipo Mega do HUCFF

À medida que a cravação avança, o solo vizinho do fuste das estacas plastifica-se e a interface solo-estaca é rompida. A cada ciclo as deformações do solo adjacente à estaca, associadas à cravação, tornam-se menores que no ciclo anterior, reduzindo significativamente o efeito deste processo nos recalques da sapata. Após alguns ciclos, o efeito predominante durante o descarregamento da sapata passa a ser a descompressão do solo, ocasionando levantamentos.

#### 6.2.2. COMPORTAMENTO DURANTE AS OPERAÇÕES DE TROCA DOS MACACOS PARA SOLDA DOS SEGMENTOS DE ESTACA TIPO MEGA:

Quando se retira os macacos, para permitir a solda de novos segmentos de estaca tipo Mega, todo o carregamento é devolvido à sapata. Este recarregamento provoca um

recalque adicional nas sapatas. Entretanto, durante o início do processo (primeiro e segundo ciclos), observou-se pequenos levantamentos em algumas sapatas (P324 e P315). No caso do P315, ela recupera o recalque sofrido, voltando para o seu ponto inicial (nos dois primeiros ciclos). Este fenômeno pode ser ocasionado pela recuperação da parcela elástica das deformações sofridas pelo solo adjacente ao fuste das estacas tipo Mega, durante a cravação das mesmas, conforme já explicado no item anterior. À medida que a cravação avança para maiores profundidades, este efeito é sobrepujado pelas deformações de compressão associadas ao recarregamento das sapatas, ocasionando recalques.

## **7. ANÁLISE DOS DANOS NO PRÉDIO**

Conforme anteriormente comentado, começou-se a medir recalques no HUCFF depois do início do reforço das fundações. Porém, a necessidade do reforço foi constatada devido a relatos dos funcionários do HUCFF sobre o aparecimento de trincas e ao aumento das trincas existentes. Segundo eles, as trincas existentes no bloco A3 aumentaram significativamente com a demolição e algumas surgiram depois da mesma. Então, apesar de não se dispor de registro dos momentos em que essas trincas surgiram, sabe-se que o prédio apresentou recalques significativos depois da demolição, antes do início das medições.

A ruptura de dois pilares e a consequente demolição de parte do hospital causou, nos funcionários do mesmo, dúvidas acerca da estabilidade de todo o Hospital. Dessa forma, algumas reclamações, específicas de trincas, foram feitas e as trincas existentes no primeiro e segundo andar do bloco A3 foram inspecionadas durante o período de execução do reforço. Essas trincas indicam o sentido de movimentação do prédio, ajudando na análise dos movimentos ocorridos.

Um esquema da parte onde foram observadas trincas (bloco A3 e prédio adjacente) está mostrada na figura 7.1. O bloco A3 está situado entre a parte demolida e as duas juntas de dilatação, uma que o separa do bloco A4 e outra que o separa do bloco mais baixo adjacente a ele.

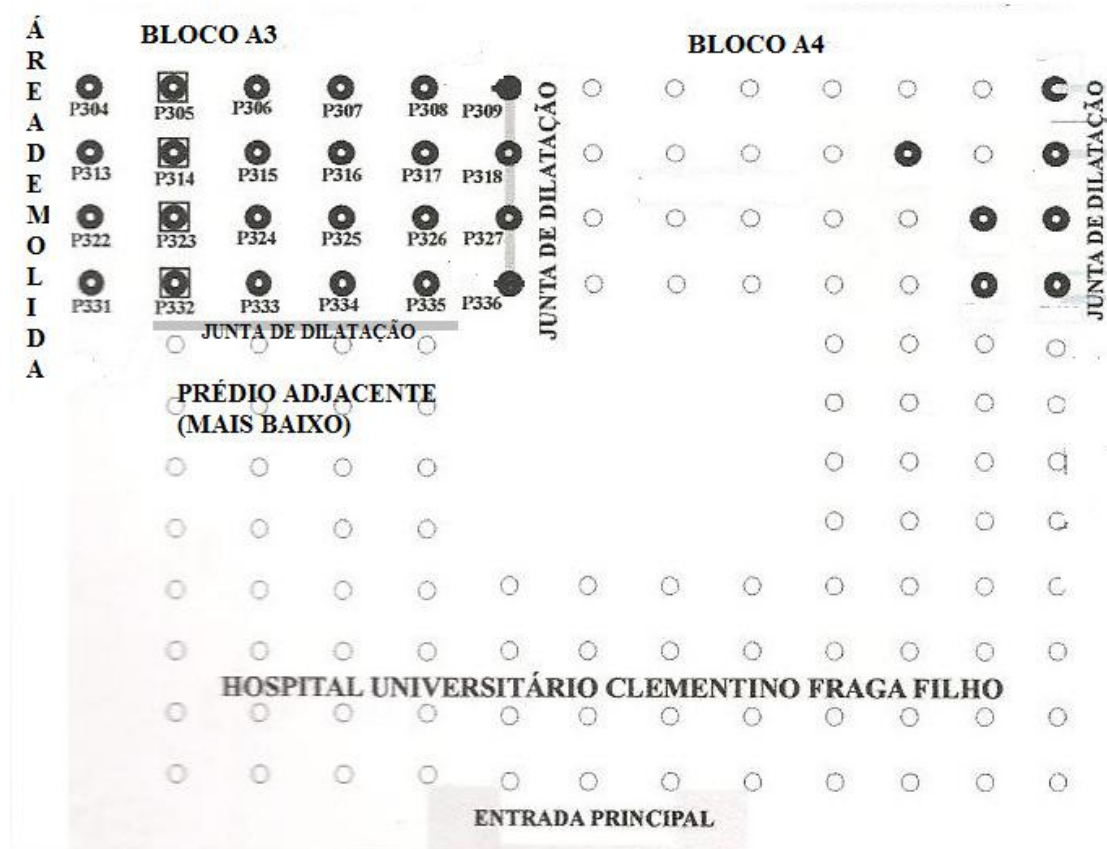


Figura 7.1: Esquema do bloco A3 e blocos adjacentes

### 7.1. Trincas no Primeiro Andar

Recalques distorcionais dos pilares provocam trincas a aproximadamente 45°. Foram procuradas, no HUCFF, trincas que tinham essa característica.

Na parede entre os pilares P326 e P327, observam-se trincas a aproximadamente 45°, características de recalque distorcional significativo de pilares. Segundo Bjerrum (1953), as trincas nas alvenarias aparecem depois de recalques distorcionais maiores que 1/300. Um esquema da trinca observada está na figura 7.2. Essa trinca indica recalques maiores no P326 em relação ao P327. Do outro lado do corredor, entre os pilares P325 e P326, também existem trincas, mostradas na figura 7.3. Essas trincas indicam recalques maiores no P326 em relação ao P325.

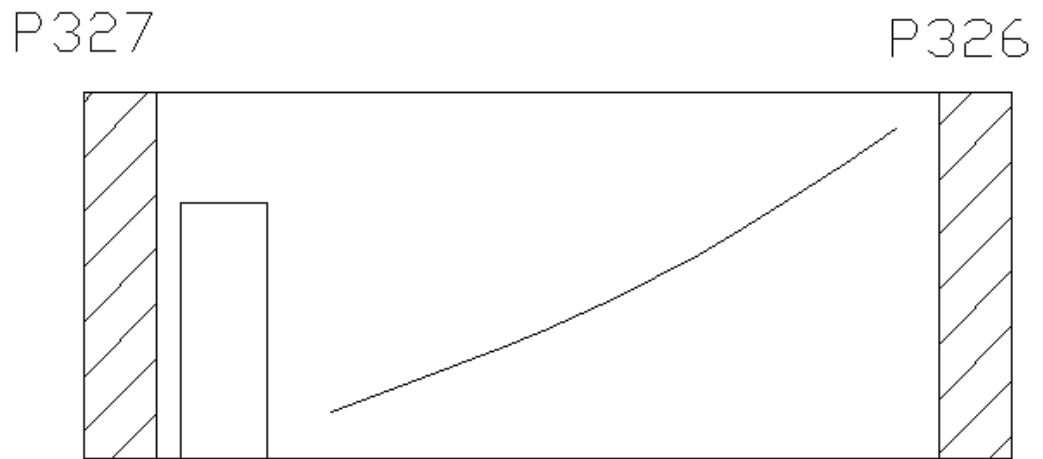


Figura 7.2: Esquema da trinca existente entre os pilares P327 e P326

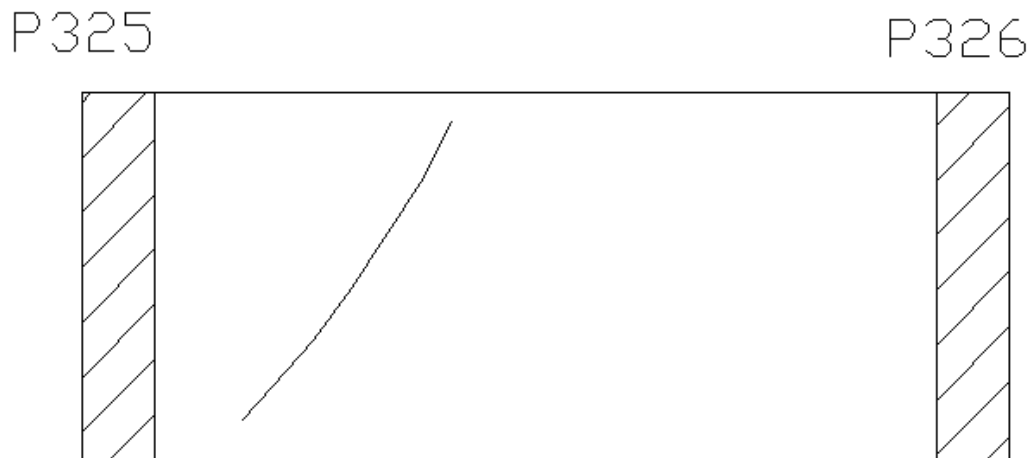


Figura 7.3: Esquema da trinca existente entre os pilares P325 e P326

Entre os pilares P335 e P326, existem trincas que indicam maiores recalques no pilar P335, conforme indicado na figura 7.4.

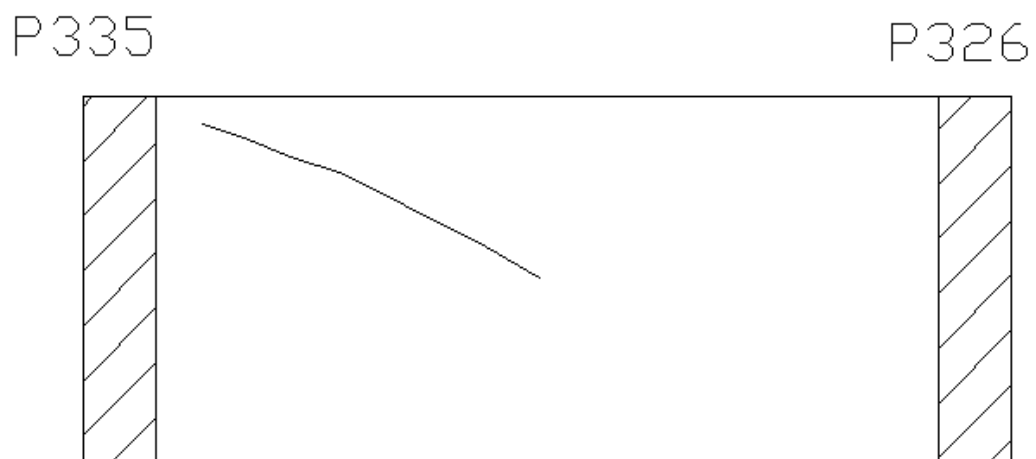


Figura 7.4: Esquema da trinca existente entre os pilares P335 e P326

Entre o P335 e o prédio adjacente a ele, mais baixo, existe uma junta de dilatação. Porém, na parede entre eles, foram observadas algumas rachaduras, conforme mostrado na figura 7.5. As figuras 7.6 e 7.7 mostram fotos da trinca.



Figura 7.5: Esquema da trinca existente entre o pilar P335 e o outro prédio



Figura 7.6: Trincas existentes entre o pilar P335 e o bloco adjacente



Figura 7.7: Trincas existentes entre o pilar P335 e o bloco adjacente

## 7.2. Trincas no Segundo Andar

Observam-se trincas na parede existente na direção do P305, P314 e P323, conforme mostrado na figura 7.8. Essas trincas indicam recalques maiores do P314 em relação ao P305 e do P323 em relação ao P314.

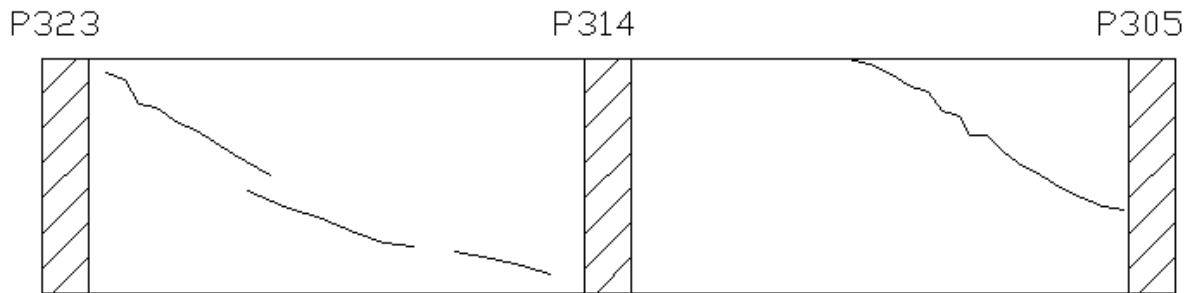


Figura 7.8: Esquema da trinca existente entre os pilares P323, P314 e P305

Além dessas, na parede existente entre o P325, P316 e P307, existem trincas que indicam recalque maior no P316 em relação ao P307 e uma pequena trinca perto do P325, conforme mostrado na figura 7.9.

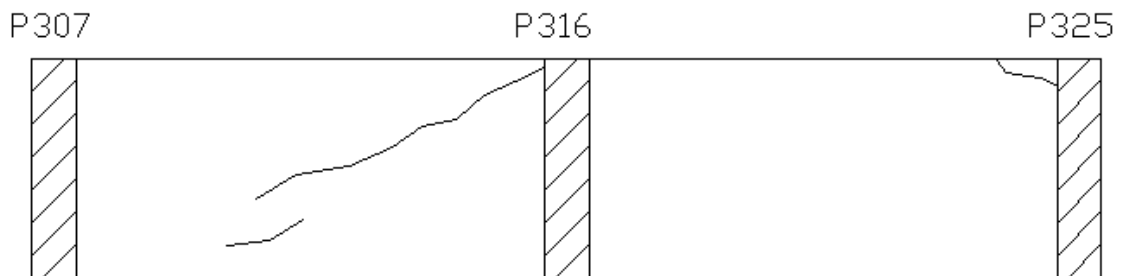


Figura 7.9: Esquema das trincas existentes entre os pilares P325, P316 e P307.

Na parede perpendicular, na direção dos pilares P325, P324 e P323, observam-se trincas que indicam maiores recalques no P323 em relação ao P324 e do P325 em relação ao P324. Adjacente ao pilar P324 existe também uma trinca vertical. As trincas são mostradas esquematicamente na figura 7.10 e na foto tirada no local na figura 7.11.

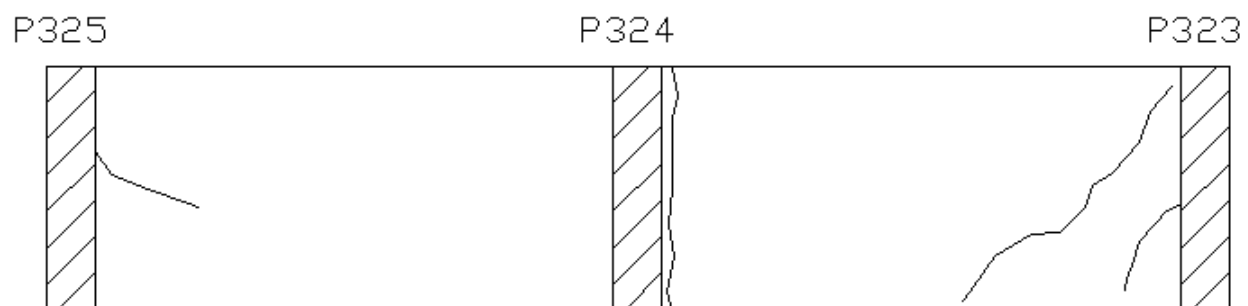


Figura 7.10: Esquema das trincas existentes entre os pilares P324 e P323





Foto 7.11: Trincas existentes na parede entre o P323 e P324

No prédio mais baixo adjacente ao A3, que é separado do A3 por uma junta de dilatação, observaram-se trincas indicando recalques maiores na linha de pilares mais próxima ao A3. Essas trincas são mostradas na figura 7.12. Essa é a última parede do prédio em questão e é a parede desse prédio mais próxima da área demolida.



Figura 7.12: Foto das trincas existentes no prédio adjacente

### **7.3. Análise da Movimentação do prédio**

Observando-se todas as trincas relatadas, o bloco A3 recalcou mais na área mais perto da área demolida. O movimento do prédio nas duas direções está indicado na figura 7.13. Observa-se que as trincas apareceram apenas nas paredes mais perto da área demolida.

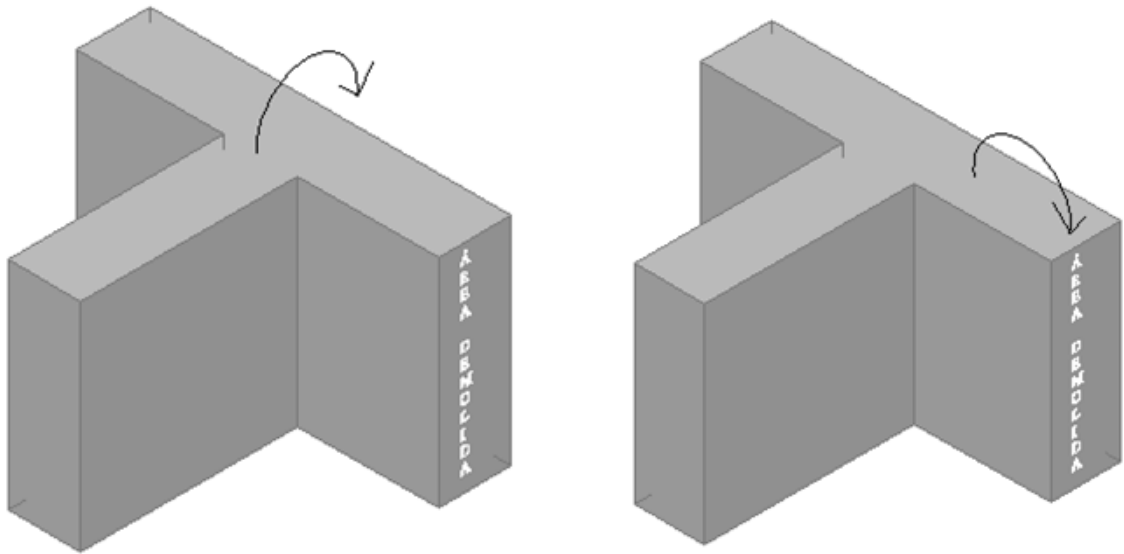


Figura 7.13: Indicações do movimento do prédio

Dessa forma, pode-se presumir que a demolição de parte do prédio foi o fator deflagrador da movimentação do prédio, induzindo recalques maiores nos pilares mais próximos da área demolida. Uma explicação para esse fenômeno seria o impacto da demolição, gerando compactação do solo e induzindo recalques maiores perto da área demolida.

## 8. CONCLUSÕES

A ruptura de dois pilares do bloco AIII levou à implosão de parte do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho. Depois da implosão, surgiram fissuras e constatou-se a movimentação da parte remanescente do bloco AIII. Então, foram utilizados dois tipos de reforço nas fundações: por estacas raiz e por estacas tipo Mega.

Na época de início do reforço, foi implantado um sistema de monitoramento de toda parte remanescente do bloco AIII. Com isso, acompanhou-se a evolução dos recalques durante o período de reforço. Estas medições foram apresentadas e analisadas neste trabalho.

De acordo com os recalques medidos, pôde-se observar que as sapatas reforçadas com estacas raiz apresentaram recalques consideráveis durante a execução das mesmas, indicando que o próprio reforço induziu alguns recalques durante a sua execução. Presume-se que a causa destes recalques foi o desconfinamento causado pela escavação

das estacas. Além disso, os recalques medidos após a execução do reforço indicam a necessidade da estaca raiz recalcar para absorver carga.

Por outro lado, os recalques observados durante a cravação das estacas tipo Mega puderam ser explicados pela hipótese de que existem dois fatores contrários interferindo no recalque da sapata. Um dos fatores deve-se a ciclagem de carga na sapata: durante a cravação, alivia-se carga na sapata, tendendo a provocar levantamentos e, ao interromper a cravação, devolve-se o carregamento original à sapata, tendendo a provocar recalques. O outro fator seria o acréscimo de tensões geradas pela cravação das estacas no solo que sustenta as sapatas, tendendo a provocar recalques durante a cravação. Observou-se que a partir de certo ciclo de carga e descarga, o primeiro fator prepondera, comandando o comportamento da fundação. Dessa forma, ao final da cravação, as sapatas apresentaram recalques.

Por último, os danos causados no prédio foram apresentados e analisados, sendo indicado o sentido de movimentação do prédio e concluindo-se que é provável que a demolição tenha sido o fator deflagrador da movimentação do mesmo.

## 9. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de fundações. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**: Rochas e Solos. Rio de Janeiro, 1995.

BJERRUM, L., "Allowable Settlement of Structures," Proc., European Conf. on Soil Mech. and Found. Engr., Weisbaden, Germany, Vol. 3, pp. 135-137. 1963

BRASFOND. Catálogo de Produtos. São Paulo, 1990.

DANZIGER, F. A B. Fundações Profundas. Notas de Aula. Rio de Janeiro, 2011.

ETUB. "Cidade Universitária da Universidade do Brasil". *Acervo do Núcleo de Pesquisa e Documentação – FAU/UFRJ*. BRASIL. 1952.

FERNANDES, M. C. "Evolução Histórica-Geográfica-Cartográfica da Ilha do Fundão". *XXI Congresso Brasileiro de Cartografia*. Belo Horizonte, MG, 2003.

FUNDAÇÃO GEO-RIO. Mapa Geológico-Geotécnico do Município do Rio de Janeiro. Disponível em: <[http://obras.rio.rj.gov.br/index.cfm?sqncl\\_publicacao=4](http://obras.rio.rj.gov.br/index.cfm?sqncl_publicacao=4)>. Acesso em: 10 jan. 2013.

GONÇALVES, A. Relatório de Acompanhamento. Rio de Janeiro, 2012.

INDAMEGA. Reforço de fundações. Disponível em: <<http://www.indamega.com.br/>>. Acesso em: 25 jan. 2013.

JC FILIZOLA ENGENHARIA. Relatório do Estudo de Estabilidade do HUCFF. Rio de Janeiro, 2012.

LOPES, F. R. "Medições de Transferência de Carga em Estacas". *VII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações*. Porto Alegre, RS. Outubro, 1986.

SALOMÃO, T. S. E FAGGION, P.L. “Monitoramento De Recalques Sofridos No Edifício Royal Plaza”. *II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação*. Recife, PE. Setembro, 2008.

UFRJ. *A UFRJ – a História*. Disponível em: <[http://www.ufrj.br/pr/conteudo\\_pr.php?sigla=HISTORIA](http://www.ufrj.br/pr/conteudo_pr.php?sigla=HISTORIA)>. Acesso em: 08 jan. 2013.

VALENÇA, J. G. *O plural e o Singular: As Ilhas e a Ilha do Fundão*. Disponível em: <[http://www.caminhosgeologicos.rj.gov.br/pg\\_placa.php?p=105](http://www.caminhosgeologicos.rj.gov.br/pg_placa.php?p=105)>. Acesso em: 08 jan. 2013.

VELLOSO, D. A. E CABRAL, D. A.. Uma solução para fundação em zonas urbanas. Solos e Rochas, ABMS, BRASIL, vol.5, n. 3, p. 19-24, dezembro, 1982.