

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
E AMBIENTAL**

**METODOLOGIA PARA CONTROLE DE RECALQUES EM
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO POR MEIO DE
NIVELAMENTO GEOMÉTRICO DE PRECISÃO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Cícero Pimentel Corrêa

Santa Maria, RS, Brasil

2012

METODOLOGIA PARA CONTROLE DE RECALQUES EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO POR MEIO DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO DE PRECISÃO

Cícero Pimentel Corrêa

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Área de Concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de

Mestre em Engenharia Civil

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Rizzatti

Co-orientador: Prof. Dr. Gihad Mohamad

Santa Maria, RS, Brasil

2012

Universidade Federal de Santa Maria

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

PIMENTEL CORRÊA, CÍCERO
METODOLOGIA PARA CONTROLE DE RECALQUES EM ESTRUTURAS
DE CONCRETO ARMADO POR MEIO DE NIVELAMENTO DE PRECISÃO /
CÍCERO PIMENTEL CORRÊA.-2012.
52 p.; 30cm

Orientador: EDUARDO RIZZATTI
Coorientador: GIHAD MOHAMAD
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, RS, 2012

1. ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO 2. MONITORAÇÃO 3.
NIVELAMENTO GEOMÉTRICO I. RIZZATTI, EDUARDO II. MOHAMAD,
GIHAD III. Título.

Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental

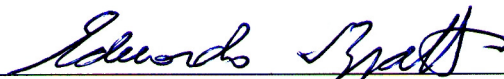
A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**METODOLOGIA PARA CONTROLE DE RECALQUES EM
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO POR MEIO DE
NIVELAMENTO GEOMÉTRICO DE PRECISÃO**

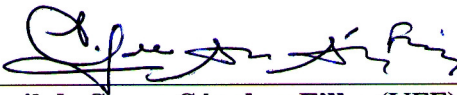
elaborada por
Cícero Pimentel Corrêa

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

COMISSÃO EXAMINADORA



Eduardo Rizzatti, Prof. Dr.
(presidente/orientador)



Emil de Souza Sánchez Filho (UFF)



Guilherme Aris Parsekian (UFSCAR)

Santa Maria, 30 de agosto de 2012

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, César e Nilse;
à minha esposa Paula e meu filho Miguel
pelo apoio e incentivo,
durante todos esses anos.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Eduardo Rizzatti, pela amizade, orientação e incentivo durante o decorrer da pesquisa.

Aos demais professores pela dedicação no decorrer das aulas.

Ao Engenheiro Christian Donin pelo auxílio e apoio para o início do estudo.

Ao meu pai pelo auxílio nas leituras periódicas durante o tempo do estudo e com o fornecimento dos equipamentos necessários.

Aos funcionários e ex-funcionários da CORSAN colaborando com a liberação do acesso ao reservatório estudado viabilizando o desenvolvimento da metodologia.

À UFSM que possibilitou meu crescimento profissional.

A todas as outras pessoas, que contribuíram de alguma forma, por participarem dessa importante etapa da minha vida.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria

MÉTODOLIA PARA CONTROLE DE RECALQUES EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO POR MEIO DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO DE PRECISÃO

AUTOR: CÍCERO PIMENTEL CORRÊA
ORIENTADOR: EDUARDO RIZZATTI

Com o crescimento da construção civil nos últimos anos e com a falta de controle do comportamento das estruturas, verificou-se a necessidade de aplicar metodologia para o monitoramento de recalques em estruturas por meio de levantamento topográfico de nivelamento geométrico de precisão.

A metodologia foi aplicada em reservatório de concreto armado, de água potável com estrutura de concreto armado, da Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), que está em fase de conclusão da obra, situado no município de Santa Cruz do Sul – RS.

Os dados obtidos na metodologia desenvolvida foram observados logo após o término da construção e durante o início de sua utilização.

Foi utilizado um conjunto composto de nível geodésico óptico-mecânico e régua metálica graduada em milímetros para a realização do controle de recalque, sendo analisadas as leituras obtidas nas réguas metálicas. Foram elaborados gráficos da evolução dos recalques, verificando-se o comportamento das velocidades e aceleração dos mesmos.

Palavras-chave: Nivelamento, recalque, monitoramento, estruturas.

ABSTRACT

Master's Dissertation
Civil Engineering Postgraduate Program
Federal University of Santa Maria

METHODOLOGY FOR CONTROLLING SETTLEMENTS IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES THROUGH PRECISE GEOMETRIC LEVELING

AUTHOR: CÍCERO PIMENTEL CORRÊA
ADVISOR: EDUARDO RIZZATTI

Civil construction on the rise over the past years, and the events of structural accidents in the meantime, gave rise to a methodology for monitoring structure settlements through precise geometric leveling topographic surveys.

The methodology was conducted in a reinforced concrete drinking water reservoir structure, of the Rio Grande do Sul Basic Sanitation Company (CORSAN), now at its final construction stage, located in the municipality of Santa Cruz do Sul – RS.

All data obtained from the newly developed methodology were observed right after the conclusion of the work and during the beginning of its utilization.

We utilized a set comprising an optical mechanic geodesic level and metallic millimeter ruler for carrying out settling control, and the readings on the metallic rulers were analyzed. Evolution charts of the settlements were made in order to check the behavior of the speeds and their acceleration rate.

Key words: Leveling, settling, monitoring, structures.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – Linha de nivelamento geométrico.....	22
FIGURA 3.1 – Reservatório de concreto estudado.....	28
FIGURA 3.2 – Adesivo Epóxi de alta aderência utilizado.....	30
FIGURA 3.3 – Referência de Nível – RN materializada.....	31
FIGURA 3.4 – Referência de Nível – RN materializada.....	31
FIGURA 3.5 – Ponto de Nível – PN Materializado.....	32
FIGURA 3.6 – Croquis esquemático do primeiro monitoramento.....	34
FIGURA 3.7 – Monitoramento do recalque da estrutura.....	34
FIGURA 3.8 – Croquis esquemático da situação dos PN e RN.....	36
FIGURA 3.9 – Nível automático Nikon AZ2F.....	37
FIGURA 4.1 – Evolução dos recalques observados no pilar P1.....	40
FIGURA 4.2 – Evolução dos recalques observados no pilar P2.....	40
FIGURA 4.3 – Evolução dos recalques observados no pilar P3.....	41
FIGURA 4.4 – Evolução dos recalques observados no pilar P4.....	41
FIGURA 4.5 – Evolução dos recalques observados no pilar P5.....	42
FIGURA 4.6 – Evolução dos recalques observados no pilar P6.....	42
FIGURA 4.7 – Evolução dos recalques observados no pilar P7.....	43
FIGURA 4.8 – Evolução dos recalques observados no pilar P8.....	43
FIGURA 4.9 – Recalques totais.....	44
FIGURA 4.10 – Curvas de iso-rascalques (valores totais).....	44
FIGURA 4.11 – Velocidade dos recalques – comportamento.....	45
FIGURA 4.12 – Recalques totais e diferenciais.....	46

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

1D – Unidimensional
2D – Bidimensional
3D – Tridimensional
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
CORSAN – Companhia Riograndense de Saneamento
GPS – Sistema de Posicionamento Global
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Km – Quilometro
MED – Medidor Eletrônico de distância
NBR – Norma Brasileira
PN – Pontos de Nível
PS – Pontos de Segurança
RN – Referência de Nível
SLR – Satélite Laser Ranging
VLBI – Very Long Baseline Inteferometry

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivo geral	12
1.2 Objetivos específicos	12
1.3 Justificativa	12
1.4 Estrutura da dissertação	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 Movimentos	15
2.1.1 Recalque	15
2.1.2 Deformações Admissíveis	15
2.2 Medição de deformação em estruturas	16
2.2.1 Medições geodésicas convencionais	19
2.2.2 Determinação de deslocamento uni, bi e tridimensionais	21
2.2.2.1 Nivelamento geométrico	22
2.2.2.2 Prescrições da NBR 13133:1994	23
2.2.2.3 Erros instrumentais	25
2.2.2.4 Medição de Recalques	26
2.3 Reservatório elevado de água do tipo INTZE	27
3 CONTROLE DE RECALQUE DE RESERVATÓRIO	28
3.1 Metodologia a ser aplicada	29
3.1.1 Medições do monitoramento	30
3.1.1.1 Implantação dos pontos de RN	30
3.1.1.2 Implantação dos PN	32
3.1.1.3 Metodologia desenvolvida para o monitoramento	33
3.1.1.4 Equipamentos utilizados	37
4 RESULTADOS	39
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	47
5.1 Conclusões	47
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

CAPITULO I

1. INTRODUÇÃO

O controle de deslocamento das estruturas envolve na maioria das vezes diferentes técnicas e métodos de medição. Para cada tipo de construção é desenvolvida uma técnica para o monitoramento, considerando-se desde necessidade até a precisão, sendo ele contínuo, por minutos, semanas a meses, dependendo do tipo de carga, se estática ou dinâmica, de condicionantes como o solo do local, estrutura utilizada, alterações no entorno, tamanho da estrutura, utilização, acidentes, dentre outros.

As primeiras instrumentações de obras geotécnicas de grande porte datam dos anos de 1930 e 1940; desde então há um contínuo avanço nos equipamentos e métodos utilizados (MATOS, 2002).

No decorrer dos tempos os equipamentos de medição estão tornando-se mais precisos e de fácil manuseio, colaborando com a manipulação *in loco*, interagindo diretamente ou indiretamente com programas de computação, gerando os resultados dos dados mais rápidos e diminuindo erros sistemáticos, tanto de operador quando de equipamento.

O recalque é um dos principais causadores de patologias em edificações e em alguns casos do colapso total das mesmas. Está presente em todas as edificações porém, em até certo nível não provoca problemas consideráveis. Existe a necessidade do controle do recalque, desde a sua identificação até a estabilização, para assim evitar casos extremos de instabilidades da estrutura.

Essa dissertação irá definir uma técnica para a medição de recalques em estrutura de concreto armado, aplicadas às medições realizadas num reservatório de água tratada, elevado, do tipo INTZE, da Companhia Riograndense de Saneamento – CORSAN, localizado na Rua João Kist Sobrinho, no bairro Renascença, município de Santa Cruz do Sul – RS, com capacidade de 250 mil litros de água, que irá colaborar no abastecimento de água tratada da Zona Norte do município

1.1 Objetivo Geral

O objetivo desse trabalho é desenvolver uma metodologia para o monitoramento dos recalques dos pilares de reservatório de água de concreto armado, com a utilização do equipamento de topografia, Nível Automático, bem como desenvolvimento instrumental voltado para essa aplicação, no decorrer de determinado período, verificando-se os deslocamentos verticais que ocorrerão durante sua utilização.

1.2 Objetivos Específicos

A seguir serão listados os objetivos dessa dissertação:

- Determinar técnica e equipamentos adequados para o monitoramento periódico da estrutura.
- Lançamento dos dados coletados em planilha e cálculos para obter os valores de recalques resultantes.
- Constatação e representação gráfica dos recalques encontrados (planilhas, gráficos e croquis).

1.3 Justificativa

Na construção civil planejar não é apenas projetar uma estrutura, mas sim pensar a obra como um todo, assim como os meios mais econômicos e confiáveis para atingir os objetivos pretendidos: funcionalidade, estabilidade, durabilidade e segurança ao longo de sua vida útil. Dessa forma, faz-se necessária a permanente observação das estruturas visando à identificação de patologias e a sua manutenção preventiva, bem como à verificação de tendências de movimentação das mesmas. Isso implica em ações para constatar tais informações,

mobilizando-se equipamentos e tecnologias, para a correta investigação e com custos mais baixos.

A importância do monitoramento dos recalques de estruturas está ligada a questões de segurança e durabilidade das construções, que precisam ser monitoradas constantemente, desde o início da obra, como controle de qualidade, verificando-se seu comportamento durante a construção e durante a sua utilização.

A falta de um monitoramento periódico pode acarretar a não constatação de problemas estruturais em construções, que em alguns casos poderá ser detectado numa simples verificação visual por um profissional treinado e com conhecimento específico. Caso semelhante ocorreu em pontes de concreto em rodovias no Rio Grande do Sul, no início de Janeiro de 2010 em que a falta de verificações periódicas acarretaram ao colapso de algumas estruturas, uma delas em Agudo, junto ao rio Jacuí, onde além do prejuízo econômico houve mortes de moradores da região.

Foi desenvolvido monitoramento dos recalques da estrutura de reservatório de concreto armado de água tratada da Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN). Essa estrutura situa-se no município de Santa Cruz do Sul – RS, onde, por meio da técnica do nivelamento geométrico foi realizado o acompanhamento dos deslocamentos verticais dos pilares da construção. Não se trata de um estudo de caso, mas uma aplicação de metodologia que pode ser utilizada em diversas construções, com diferentes usos e com a mesma tipologia estrutural

1.4 Estrutura da Dissertação

Com a finalidade de atender aos objetivos propostos o trabalho foi estruturado em cinco capítulos.

O capítulo **I – Introdução** apresenta a contextualização inicial sobre o tema, motivação, a proposição dos objetivos pretendidos com a metodologia desenvolvida.

O **capítulo II – Fundamentação Teórica** expõe-se o conteúdo relativo ao movimento, sendo recalques e movimentos admissíveis, medição de deformação de estruturas com ênfase em medições geodésicas convencionais com a aplicação do nivelamento geométrico, com a utilização de nível óptico. São apresentados também os erros ocorridos nas medições de recalque e os equipamentos utilizados.

O **capítulo III – Controle de Recalque de Reservatório** apresenta o local onde foi aplicado o estudo, a metodologia definida para monitoramento de recalque de estruturas e as medições realizadas equipamentos utilizados.

No **capítulo IV – Tratamento dos dados e resultados** apresenta-se os resultados obtidos por meio das medições realizadas no monitoramento da estrutura, representados a partir de gráficos com a progressão e a linha de tendência de recalques de cada pilar, recalques totais e velocidade dos mesmos.

No **capítulo V – Conclusões e Recomendações** sintetizam - se considerações finais de acordo com a metodologia aplicada na pesquisa e os objetivos da dissertação, bem como as recomendações para a aplicação da mesma para futuros trabalhos.

CAPITULO II

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Movimentos

2.1.1 Recalque

Segundo a NBR 6122:2010, recalque é o movimento vertical descendente de um elemento estrutural. Quando o movimento for ascendente, denomina-se levantamento. Convenciona-se representar o recalque com o sinal positivo. Recalque diferencial específico é a razão entre as diferenças dos recalques de dois apoios e a distância entre eles. Nas obras em que as cargas mais importantes são verticais, a medição dos recalques constitui o recurso fundamental para a observação do comportamento da obra (ABNT, 2010).

2.1.2 Deformações Admissíveis

As deformações são um fenômeno normal dos solos. Quando são excedidas além de certo limite, podem conduzir a fraturas e a deslizamentos prejudiciais. A grande questão é sua limitação. Essa responsabilidade deve caber aos seguintes agentes da obra:

- normas ou códigos da construção;
- engenheiro de projeto;
- engenheiro construtor;
- engenheiro especialista como consultor;
- proprietário ou clientes;
- instituições financeiras ou de seguros;
- fabricantes do material;
- o poder público.

Trabalhando isolados ou em conjunto, os agentes têm opiniões que devem ser discutidas e levadas em conta antes da construção, quando as deformações forem um dado importante para o projeto. Fixam, portanto, as deformações admissíveis que a obra pode ter, devendo ser o mesmo obedecido na construção.

Os movimentos assim definidos, isto é, ao se considerar as deformações admissíveis na obra, os agentes levaram em conta, basicamente, três critérios que devem ser satisfeitos:

- a) aparência visual.
- b) funcionalidade.
- c) estabilidade.

As deformações maiores que o valor admissível podem causar danos na maioria das construções. Assim as deformações admissíveis são geralmente fixadas, mas pelos danos de aparência, funcionalidade e dano estrutural. Algumas vezes o construtor ou proprietário prefere conviver com o dano na obra, do que ter que gastar um elevado custo para eliminá-lo. Essa posição pode ser aceita somente se o dano causar apenas desconforto passageiro.

Todas as estruturas recalcam, com maior ou menor magnitude, dependendo de uma série de condições, ainda que os recalques diferenciais possam ocorrer dentro da estrutura, deve-se introduzir um fator de segurança adicional no estágio de projeto para cobrir esses fatores (BELL, 1985).

2.2 Medição de Deformações em Estruturas

Quando da medição das deformações em estruturas deve ser estabelecido um plano de instrumentação e observação adequado às características peculiares da estrutura considerando-se o seu porte, a sua finalidade e utilização, que deverá abranger (SÊCO E PINTO, 2006):

- a) as grandezas a observar;
- b) as características dos equipamentos;
- c) os cuidados na instalação;
- d) a aquisição de dados;
- e) o tratamento de informação;
- f) os limites da atenção e de alerta;
- g) as inspeções visuais.

A classificação dos métodos de monitoramento das deformações em estruturas é, de forma geral, apresentada em dois grandes grupos: os métodos geodésicos e os métodos geotécnicos.

Os métodos de monitoramento geodésico visam encontrar alterações de coordenadas (planimétricas e/ou altimétricas), de uma série de leituras, de pontos, em determinado período de tempo. Os valores encontrados indicam se houveram alterações nos valores das coordenadas, chamado de deslocamento.

GAGG (1997) afirma que, se comparado com outros tipos de levantamentos, as medidas de deslocamento têm as seguintes características:

- a) necessidade de alto grau de acuracidade;
- b) repetibilidade de observações;
- c) integração de diferentes tipos de observações;
- d) análise estatística dos dados adquiridos;

Os métodos geodésicos são primeiramente utilizados para detectar os movimentos absolutos e abrangem:

- a) Métodos geodésicos convencionais
 - redes geodésicas de monitoramento: absoluto e relativo;
 - redes horizontais de monitoramento: redes de triangulação, redes de trilateração e redes de triangulateração;
 - movimentos verticais: nivelamento geodésico de primeira ordem.
- b) Método fotogramétrico
 - fotogrametria terrestre.
- c) Técnicas espaciais
 - VLBI – Very Long Baseline Interferometry;
 - SLR – Satellite Laser Ranging;
 - GPS – Sistema de Posicionamento Global.

Os métodos geotécnicos são primeiramente utilizados para detectar movimentos relativos e abrangem:

- a) técnicas geotécnicas e de engenharia estrutural;
 - medições diretas de deformações usando *strainmeters*;
 - vários tipos de extensômetros;
 - pêndulo invertido e suspenso;

- *tiltmeters*;
 - clinômetros;
 - inclinômetros, etc.
- b) Projetos especializados de monitoramento
- interferômetro a laser;
 - nivelamento hidrostático;
 - alinhamento vertical (pêndulo mecânico ou prumo óptico);
 - alinhamento a laser;
 - métodos holográficos.

KAHMEN e FAIG (1988) relatam que os métodos geotécnicos e geodésicos podem ser usados para estudar deformações. Os métodos geotécnicos são utilizados primeiramente para detectar movimentos relativos. Entre os equipamentos empregados podem-se destacar os pêndulos, extensômetros, etc. Os métodos geodésicos são primeiramente utilizados para detectar movimentos absolutos.

No caso específico do tema desse trabalho interessam os métodos geodésicos de medição e respectivos equipamentos referentes à mensuração de deslocamentos. Dessa forma, considerando-se as classificações dos métodos de monitoramento e os instrumentos, os dados geodésicos podem ser obtidos por (CHAVES, 2001):

- a) triangulação;
- b) trilateração;
- c) triangulateração;
- d) poligonação;
- e) nivelamento geométrico;
- f) nivelamento trigonométrico;
- g) fotogrametria terrestre;
- h) VLBI;
- i) SLR;
- j) GPS;
- k) medida de distância por taqueometria;
- l) medida de distância por MED.

2.2.1 Medições Geodésicas Convencionais

As medições de deformações por métodos geodésicos realizam-se em dois tipos de rede: absoluta e relativa (CHAVES, 2001).

A rede absoluta ou rede de referência é constituída pelos pontos estabelecidos fora do corpo deformado, servindo como pontos de referência para a determinação dos deslocamentos absolutos dos pontos do objeto investigado. O principal problema na análise geométrica duma rede absoluta é a identificação dos pontos de referência estáveis (MOURA, 2008).

Na rede relativa ou objeto todos os pontos estão no objeto investigado com a finalidade de identificar o modelo de deformação causado pelas forças e tensões atuantes, pelos deslocamentos relativos do corpo rígido e pelos deslocamentos pontuais. A análise de uma rede relativa (objeto) depara-se com a determinação do modelo de deformação nos domínios espacial e temporal (MOURA, 2008).

Os vértices das redes podem ser classificados, quanto a sua função, em (CASACA, 2007):

- a) pontos - objeto: aqueles cujo deslocamento é uma variável de controle;
- b) pontos de referência: aqueles que se destinam a construir a rede de referência, cuja posição pode ser considerada fixa ao longo do tempo ou cujos deslocamentos podem ser determinados por outros métodos (por exemplo, GPS);
- c) pontos auxiliares: aqueles que se destinam a reforçar a configuração geométrica da rede.

Os vértices também podem ser classificados, quanto a sua função operativa, em (CASACA, 2007):

- a) pontos - estação: aqueles em que se realiza o estacionamento dos instrumentos de medição (teodolitos, Estações Totais, níveis ópticos) e que necessitam de acesso fácil e boas condições para as operações de medição;
- b) pontos-alvo: aqueles que se destinam a suportar os prismas dos MED, alvos de encaixe orientáveis, miras de apoio inferior ou superior, etc., que necessitam de acesso fácil, ou ainda alvos de pontaria óptica imóveis em locais inacessíveis.

Ainda no tocante aos métodos geodésicos, em trabalhos de monitoramento de grandes estruturas é usual associar diferentes técnicas utilizando-se métodos mistos, como o

posicionamento por GPS para a determinação de coordenadas planas dos pontos e o nivelamento geométrico de precisão para o controle altimétrico. É comum a utilização de um conjunto de pontos denominado rede de monitoramento para a elaboração de tais atividades.

Os levantamentos geodésicos, utilizando uma rede de pontos interconectados por ângulos e ou medidas de distância, usualmente proporcionam suficiente redundância de observações para análises estatísticas de qualidade e detecção de erros. Essa técnica proporciona informações globais sobre o comportamento do objeto deformável, enquanto as medições geodésicas proporcionam informações localizadas (ZOCOLOTTI FILHO, 2005).

As técnicas de mensuração geodésicas visam detectar se um ponto ou conjunto de pontos tem variação nas suas coordenadas (planimétricas e/ou altimétricas) ao longo do tempo; para tanto, as medidas com a finalidade de monitoramento devem ser realizadas tanto horizontal quanto verticalmente, com o objetivo de determinar as coordenadas modificadas (deslocamento). Em comparação com outros tipos de levantamento as medidas de deslocamento têm as seguintes características (ZOCOLOTTI FILHO, 2005):

- a) necessidade de alto grau de acuracidade;
- b) repetibilidade de observações;
- c) integração de diferentes tipos de observações;
- d) análise de estatística dos dados adquiridos.

A estimação dos deslocamentos baseia-se em relações diferenciais entre as variações das grandezas observáveis de uma rede e as correspondentes variações das coordenadas dos vértices dessa rede. A utilização do método dos mínimos quadrados (MMQ), conjuntamente com um modelo estocástico dos erros de observação, permite a estimação dos deslocamentos e o seu controle de qualidade por intermédio de testes estatísticos (CASACA, 2007)

Algumas vantagens dos métodos geodésicos são destacadas na literatura (KRELLING, 2005):

- a) fornecem o estado global de um corpo deformável;
- b) detêm conhecimento próprio para verificar os resultados e são capazes de avaliar a precisão da medição globalmente;
- c) fornecem versatilidade e adequação para qualquer situação, quer ambiental, quer de operação.

2.2.2 Determinação de deslocamento uni, bi e tridimensionais

Para se atingir o objetivo do monitoramento, isto é, a determinação de deslocamentos, sejam eles considerados uni (1D), bi (2D) ou tridimensionalmente (3D), os trabalhos seguem normalmente um cronograma que atenda primeiramente à instalação dos pontos-estação da rede para então se proceder às observações dos pontos objetos. As configurações de geometria e rigidez dependem de cada obra e situação específicas.

A determinação de uma rede de monitoramento envolve quatro etapas (KRELLING, 2006):

- a) especificação: necessidade de conhecimento *a priori* da grandeza dos deslocamentos, também uma condição para estabelecer a precisão dos equipamentos utilizados;
- b) concepção: etapa que visa a atingir a melhor configuração das estações de controle de observação;
- c) implantação: etapa de maior custo, que envolve técnicas de medição e problemas de tais como centragem do instrumento, pontaria aos alvos e nivelamento dos equipamentos;
- d) análise: etapa na qual as observações são estatisticamente analisadas; nessa etapa a análise estatística consiste na detecção de erros grosseiros, estimação de parâmetros e comparação entre dois conjuntos de dados provenientes de épocas diferentes. Essa análise procura determinar as variações das coordenadas. Nessa etapa é realizada também um estudo de otimização da rede do ponto de vista da confiabilidade interna.

A determinação das coordenadas dos pontos de uma rede geodésica de monitoramento é tradicionalmente obtida por intermédio dos métodos:

- a) determinação horizontal (planimétrica)
 - triangulação e trilateração;
 - interseções;
 - poligonação;
 - irradiação;
- b) determinação vertical (altimétrica)
 - nivelamento geométrico;
 - nivelamento trigonométrico.

Para o monitoramento da estrutura estudada foi utilizado o Nivelamento Geométrico, em que foram medidos os movimentos verticais da estrutura, levando-se em consideração apenas a altimetria.

2.2.2.1 Nivelamento Geométrico

O método tradicional em geodésia para o monitoramento de estruturas é o nivelamento geométrico, para determinação de atitudes, controle de recalques de fundações de estruturas, edifícios, etc. A medida dos recalques em diversos tipos de estrutura, e particularmente em edifícios, é normalmente efetuada pelo processo topográfico de nivelamento geométrico (Figura 2.1).

Esse tipo de controle baseia-se no nivelamento geométrico para a determinação da diferença de nível entre dois pontos, efetuada por meio da leitura com o nível em miras colocadas verticalmente uma em cada ponto, minimizam-se os erros sistemáticos decorrentes da curvatura terrestre, das condições atmosféricas e de colimação residuais, colocando-se o nível aproximadamente equidistante dos pontos a nivelar.

Não sendo possível efetuar a medição da diferença de nível entre dois pontos por leitura direta com o nível, seja por limitações de distância ou de desnível, o trecho (seção ou linha) é subdividido em trechos menores (lances) pela introdução de pontos auxiliares intermediários, sendo determinada a diferença de nível para cada lance, de forma que o desnível total seja a soma dos desníveis intermediários.

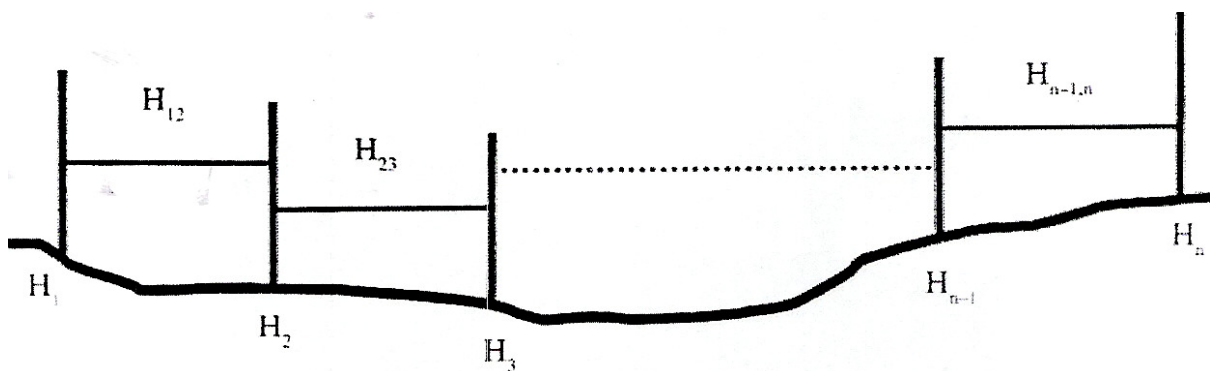


Figura 2.1 – Linha de nivelamento geométrico (CASACA, 2007).

Por se tratar de trabalho que requer a mensuração de grandezas cujos valores são relativamente muito pequenos, principalmente quando comparados com outros tipos de

mensurações tradicionais em topografia, deve ser conduzidos com equipamentos de alta precisão.

2.2.2.2 Prescrições da NRB 13133:1994

A NBR 13133:1994 estabelece quatro classes de nivelamento de linhas ou circuitos e de seções, abrangendo métodos de medida, aparelhagem, procedimentos, desenvolvimento e materialização (Tabela 2.1).

Classe IN – nivelamento geométrico para a implantação de referencias de nível (RN) de apoio altimétrico.

Classe IIN – nivelamento geométrico para a determinação de atitudes ou cotas em pontos de segurança (PS) e vértices de polígonos para levantamentos topográficos destinados a projetos básicos, executivos, como executado (*as built*) e obras de engenharia.

Classe IIN – nivelamento trigonométrico para a determinação de altitudes ou cotas em poligonais de levantamento, levantamento de perfis para estudos preliminares e/ou de viabilidade em projetos.

Classe IVN – nivelamento taqueométrico destinado a levantamento de perfis para estudos expeditos.

Classe	Equipamento	Linha	Lance máximo	Lance mínimo	Tolerância de fechamento
IN – Geométrico	Classe 3		80 m	15 m	12 mm . \sqrt{k}
IIN- Geométrico	Classe 2		80 m	15 m	20 mm. \sqrt{k}
IIIN - Trigonométrico	Classe 2	Princ.	500 m	40 m	150 mm . \sqrt{k}
		Sec.	300 m	30 m	200 mm . \sqrt{k}

Tabela 2.1 – Classificação dos nivelamentos.

Fonte NBR 13133:1994.

Para as duas primeiras classes (nivelamento geométrico) a tolerância de fechamento estabelecida correspondente a diferença máxima aceitável entre o nivelamento e o contranivelamento de uma seção e linha. Para a classe IIIN (nivelamento trigonométrico) prevê-se a utilização de Estação Total classe 2 (de precisão média) e a menor tolerância estabelecida, válida para linhas principais são de 0,15 m. \sqrt{k} (“k” é a extensão nivelada em km, medida num único sentido), considerando se sempre k como sendo a distância nivelada (em km) num único sentido.

Para nivelamentos geométricos de ordem superior às das classes IN e IIN, a NBR 13133:1994 recomenda a utilização das Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos do IBGE.

Pela análise das especificações apresentadas verifica-se que a NBR13133:1994 não prevê a possibilidade de execução de nivelamentos de precisão por outros processos que não o tradicional nivelamento geométrico; essa impossibilidade é considerada por diversos estudiosos como uma distorção a ser corrigida, os quais defendem, face ao estágio atual dos equipamentos disponíveis no mercado, que a vantagem do método do nivelamento trigonométrico está em poder atingir precisão ao nível do nivelamento geométrico com alto rendimento.

A norma da NBR 13133:1994 classifica os níveis segundo o desvio padrão de 1 km de duplo nivelamento (Tabela 2.2).

Classes de níveis	Desvio padrão
Classe 1 – precisão baixa	$> \pm 10$ mm/km
Classe 2 – precisão média	$\leq \pm 10$ mm/km
Classe 3 – precisão alta	$\leq \pm 3$ mm/km
Classe 4 – precisão muito alta	$\leq \pm 1$ mm/km

Tabela 2.2 – Classificação dos níveis (NBR 13133:1994).

Em função do grande desenvolvimento tecnológico ocorrido nos últimos anos, existe hoje a possibilidade de utilização de um conjunto formado por nível digital com módulo de gravação interna de dados e mira de ínvar com código de barras; as leituras são gravadas durante a execução da etapa de campo do nivelamento, e posteriormente processadas e analisadas em software fornecido pelos fabricantes dos equipamentos.

2.2.2.3 Erros Instrumentais

Em trabalhos de levantamento topográfico que buscam informações de alta precisão, sendo nesse caso o monitoramento de estruturas, é essencial que os equipamentos de medição estejam em bom funcionamento, devidamente verificados e calibrados, para que possam atingir as informações necessárias de forma adequada.

Além dos possíveis erros gerados pelos equipamentos de topografia, ocorrem os erros dos métodos operacionais, devido às condições atmosféricas e de operação (levados a inexperiência, distração, cansaço, etc.). Os erros podem ser grosseiros, sistemáticos e acidentais ou aleatórios.

- Os erros podem ser grosseiros, ocorrendo por enganos e descuidos do operador ou do auxiliar; normalmente são os que mais ocorrem, sendo de fácil identificação.
- Os erros sistemáticos são os que se repetem do mesmo modo, sempre que uma determinada ação se repete nas mesmas circunstâncias; compreendem os erros instrumentais e ambientais, que assumem o mesmo valor em medições realizadas nas mesmas condições, instrumentais e ambientais. São erros que podem ser evitados pela adoção de técnicas especiais de observação, ou quando conhecidos, podem ser expressos por meio de uma formulação matemática que possibilite a sua eliminação *posteriori* (MOURA 2008).
- Erros acidentais (ou aleatórios). O termo acidental não tem conotação de acidente e sim imprevisibilidade. Os erros acidentais são as imprevisões inevitáveis que afetam cada medida. Esses erros são provocados devido às imperfeições dos sentidos do operador, às irregularidades atmosféricas e aos pequenos erros inevitáveis na construção dos instrumentos. Os erros acidentais atuam de maneira completamente irregular sobre os resultados das medições e se apresentam com sinal positivo e negativo. Somente esses erros irregulares e acidentais são considerados na compensação e no ajustamento por meio de estatística.

Nesse trabalho, no qual se utilizou o levantamento topográfico de nivelamento geométrico, foi utilizado o equipamento Nível; nesse ocorrem erros instrumentais, que estão relacionados aos erros sistemáticos.

Em um nível os erros instrumentais estão relacionados com o sistema de eixos. O eixo do nível tubular LL refere-se aos níveis mecânicos; os níveis automáticos utilizam um sistema de pêndulo (GOMES, 2006).

Nos níveis ópticos o erro instrumental mais significativa é o erro de colimação vertical, devido a não horizontalidade do eixo de colimação da luneta; esse erro é corrigido com a adoção de método operacional adequado: estacionamento do nível à mesma distância das miras de ré e vante (MOURA 2008).

Na instrumentação em levantamento topográfico de nivelamento também se consideram os erros que ocorrem no Nível; também se deve-se observar erros que ocorrem nas miras verticais, sendo:

- erro de verticalidade da mira: para corrigir essa influência, utiliza-se o nível de cantoneira, fixado na mesma.
- erro de graduação da mira: uma vez que a temperatura afeta a graduação da mira, nos nivelamentos de precisão utiliza-se miras com a graduação feita em uma fita de invar, material com baixo coeficiente de dilatação.
- erro de índice de mira: erro devido à incerteza de que o zero da escala coincida rigorosamente com a base da mira.

2.2.2.4 Medição de Recalques

A medida dos recalques deve obedecer a uma estratégia cuidadosamente elaborada, desde a implantação de RN (Referência de Nível) indeslocável – Benchmark – até a execução das campanhas de medição. O Benchmark deve ser materializado fora da área de influência de estudo, ou seja, externamente à área suscetível a recalque, e a sua implantação obedece a rígidos critérios, para garantir a sua indeslocabilidade é construído sobre elemento firmemente engastado no solo ou em rocha

Os pontos de controle devem ser distribuídos de acordo com a característica geométrica da estrutura ou da edificação, sendo geralmente fixados pinos em pilares ou nas peças estruturais onde se quer efetuar a medição para controle dos deslocamentos verticais.

As campanhas de nivelamento geométrico devem ser planejadas de forma a atender aos seguintes requisitos:

- a) periodicidade das observações para tomada das medidas, decorrente da metodologia de trabalho traçada em conjunto com a equipe de observação e análise do comportamento da estrutura;
- b) deve-se sempre que possível efetuar as medições em horários fixos, em condições similares, buscando-se diminuir a variabilidade de influência nos resultados;
- c) as leituras deverão ser efetuadas em um número de séries (de nivelamento e contranivelamento) tal que propicie alcançar a precisão almejada.

Os dados provenientes das campanhas de campo deverão ser cuidadosamente analisados e processados, buscando-se determinar as cotas altimétricas dos pontos de controle; a velocidade de recalque é calculada pela expressão:

$$V = \frac{\text{recalque}}{\text{tempo}} (\mu\text{mm} / \text{dia}) \quad (2.1)$$

2.3 Reservatório elevado de água do tipo INTZE

Os reservatórios elevados podem ser executados em diferentes formatos e materiais, sendo que um desses tipos é o reservatório elevado em concreto armado. A Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), órgão responsável pela distribuição de água na maior parte dos municípios do estado do Rio Grande do Sul, quando necessita construir um reservatório elevado de água, geralmente adota o elevado do tipo INTZE, sendo essa denominação uma homenagem a Otto Adolf Ludwing Intze, engenheiro civil alemão nascido na metade do século XIX, o qual desenvolveu torres e barragens para a reserva de água, sendo que os reservatórios elevados que levam o seu nome são muito semelhantes as torres de água desenvolvidas pelo mesmo naquela época (SOLDEIRA, 2011).

CAPITULO III

3. CONTROLE DE RECALQUE DE RESERVATÓRIO

No início de 2010 teve início da implantação de um reservatório elevado de concreto armado do tipo INTZE, da Companhia Riograndense de Saneamento, localizado na Rua João Kist Sobrinho, no bairro Renascença, município de Santa Cruz do Sul – RS. Com capacidade de 250 mil litros de água irá colaborar no abastecimento de água tratada da Zona Norte desse município (Figura 3.1).



Figura 3.1 – Reservatório de concreto do tipo INTZE.
Fonte: Autor (2011).

O reservatório tem altura de 18,77 metros, considerando-se desde o nível do terreno até o ponto mais alto da cúpula, e um diâmetro das paredes do cilindro externo de 12,40 m.

A sua infra-estrutura e estrutura de apoio são formadas por:

- estaqueamento e cravação de estacas metálicas TR 45;
- blocos de fundação locados sobre o terreno, dispostos em um formato semelhante ao de um octógono;
- vigas de fundação as quais se intercalam entre cada par dos blocos de fundação;
- pilares de seção quadrangular, dispostos em três níveis;
- vigas de amarração dos pilares, de formato reto e com seção retangular, também apresentando a disposição de um octógono, compostas de dois níveis.

3.1 Metodologia a ser Aplicada.

Quanto à técnica adotada para a verificação da existência de recalques e seu acompanhamento, definiu-se o levantamento topográfico de nivelamento geométrico que, segundo a NBR 13133:1994, trata-se de um método direto de determinação de desnível onde é realizada a medida da diferença de nível entre pontos do terreno por intermédio de leituras correspondentes a visadas horizontais, obtidas com um nível, em miras colocadas verticalmente nos referidos pontos.

Para a realização do estudo do comportamento da interação solo-estrutura, ou seja, verificar os deslocamentos verticais ocorridos na estrutura foi necessário a adoção de pontos teoricamente fixos que sirvam de RN (Referência de Nível) para as demais observações.

Outro item importante consistiu na elaboração dos PN (Pontos de Níveis), que foram engastados nos pilares da obra, para servir de apoio ao monitoramento da estrutura.

Definiu-se como PN régua de aço milimetradas, com 10 cm de comprimento, fixada nos pilares com adesivo epóxi de alta aderência, ficando na mesma posição para futuras leituras. Em locais onde a entrada não é restrita, como no reservatório estudado, é recomendado além de colar, fixar com parafusos as extremidades da régua. Para redução de custos foram compradas régua de aço com 30 cm de comprimento e cortadas em funileiro em três partes de 10 cm

3.1.1 Medições do Monitoramento

3.1.1.1 Implantação dos pontos de RN

Para a implantação dos pontos de Referência de Nível foram escolhidos três pontos, em locais que não terão interferência direta do reservatório estudado. A materialização foi realizada com partes das régua metálicas cortadas, essas por sua vez foram fixadas com adesivo epóxi de alta aderência, de forma horizontal para diferenciar-se dos pontos de níveis dos pilares do reservatório. Tomou-se como convenção a leitura na parte superior da régua metálica, sendo indicada com tinta preta.



Figura 3.2 – Adesivo epóxi de alta aderência utilizado
Fonte: autor (2011).

Dois pontos foram colocados em muros de alvenaria, no lado oposto da rua do terreno do reservatório e outro ponto em parede de alvenaria de casa ao lado. Ambos foram colocados de maneira que quando o equipamento instalado dentro do terreno do reservatório, para realizar as leituras, seriam visíveis simultaneamente e com a mesma altura de nível, lançados com o equipamento Nível Óptico (Figura 3.3).



Figura 3.3 – Referência de Nível - RN materializada.
Fonte: autor (2011).



Figura 3.4 – Referência de Nível - RN materializada.
Fonte: autor (2011).

3.1.1.2 Implantação dos PN

Para a sustentação do reservatório, foram construídos oito pilares de concreto de forma quadrada de 50 cm de lado, cada um recebeu uma régua de aço, milimetrada, com 10 cm de comprimento.

As régua foram colocadas de forma vertical, fixadas no pilares com adesivo epóxi de alta aderência, todas no mesmo nível das Referências de Nível. Foi tomado como convenção todas as leituras serem realizadas no número “5” de cada régua, no meio da mesma, para não haver erros nas seguidas séries de leituras periódicas que foram realizadas.

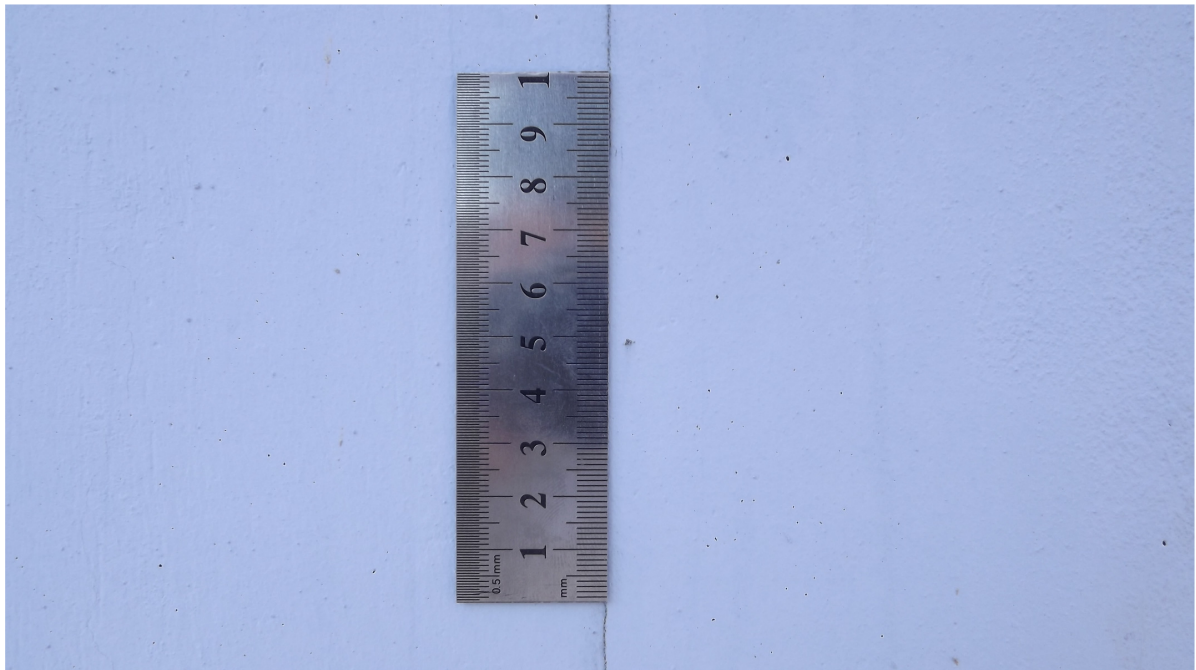


Figura 3.5 – Ponto de Nível - PN materializado.
Fonte: autor (2011).

O posicionamento dos Pontos de Níveis foram colocados de forma que cada vez em que o equipamento foi instalado, as leituras foram simultâneas entre eles e as Referências de Nível.

3.1.1.3 Metodologia desenvolvida para o monitoramento

Para a realização do monitoramento visando a medição de recalques na estrutura, trabalhou-se com o levantamento topográfico de nivelamento geométrico de precisão.

Sendo uma técnica analítica de desenvolvimento do monitoramento em campo, foram considerados os erros que ocorrem em levantamentos topográficos de nivelamento.

Com o objetivo de reduzir os erros foi definida uma metodologia em que não haja a necessidade de leituras em miras convencionais de topografia, que dependem da destreza do auxiliar que a deve segurar no prumo e do operador do Nível Óptico que estima, ao invés de ler diretamente os milímetros, já que a mesma é graduada em centímetros.

Os pontos de Referência de Nível, fixados em locais consolidados no entorno e os Pontos de Nível, nos pilares do reservatório, foram todos colocados no mesmo momento e no mesmo nível.

No dia 22 de julho de 2011 deu-se início as atividades de estudo desse trabalho, começando pela colocação dos pontos de Referência de Nível, com a régua metálica na horizontal, todos no mesmo nível, lançados em visadas com o Nível Óptico; após foram realizadas leituras de conferência com o equipamento, instalando-se mais duas vezes para se certificar que ambas estão no mesmo nível. Depois de realizadas as verificações, as peças foram devidamente coladas; esse procedimento total levou aproximadamente 30 minutos.

Com as referências de nível definidas, foi iniciada a colocação dos pontos nos pilares. Com o equipamento instalado na mesma altura das RN, as mesmas foram riscadas com lápis em suas faces (Figura 3.6). O mesmo procedimento foi repetido mais uma vez, para verificação das alturas e outra vez, para colocação das réguas metálicas, sendo um total de três procedimentos. As réguas foram colocadas de forma vertical, e tomando-se como convenção a altura de nível inicial do estudo o valor arbitrário “5”. Esse procedimento levou aproximadamente 1 hora e 30 minutos.

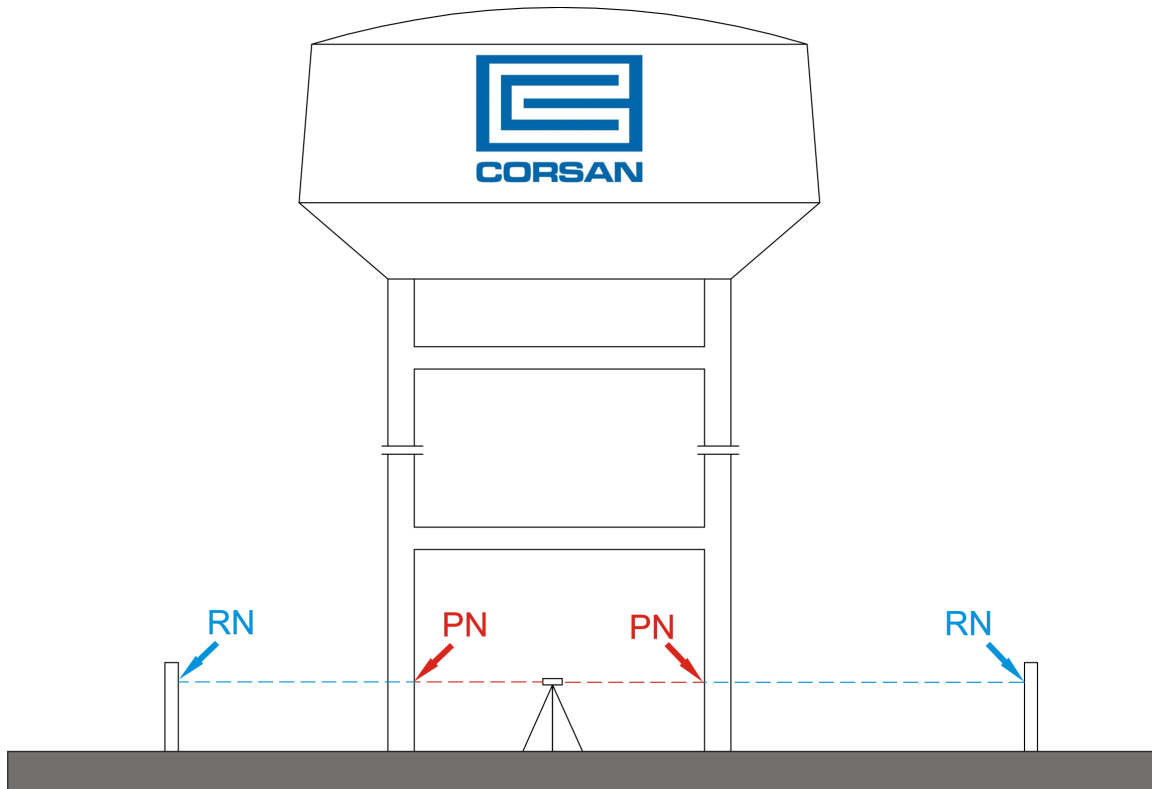


Figura 3.6 – Croquis esquemático do primeiro monitoramento.

Fonte: autor (2012).

Com as tarefas anteriormente descritas prontas, passaram a ser realizadas as leituras periódicas, para o monitoramento do recalque da estrutura, que durou 10 meses, num total de 10 séries de leituras (Figura 3.7).



Figura 3.7 – Monitoramento do recalque da estrutura.

Fonte: autor (2011).

A segunda série de leituras ocorreu no dia 19 de agosto de 2011; dessa vez o equipamento Nível Óptico foi instalado três vezes, sempre na altura das RN (Figura 3.8).

Em cada uma das vezes em que o equipamento foi instalado foram visadas as três referências de nível, para se certificar se estavam no mesmo plano horizontal e a partir daí na leitura realizada nos Pontos de Nível, nas régua dos pilares, contabilizando-se três leituras em cada RN e PN. Dessa forma quando a leitura era realizada na régua fixada no pilar, o valor do recalque era obtido no momento da visada com o equipamento, sendo a última leitura efetuada em 4 de maio de 2012.

As séries de leituras do monitoramento da estrutura foram realizadas nas seguintes datas:

- a) 22 de julho de 2011;
- b) 19 de agosto de 2011;
- c) 16 de setembro de 2011;
- d) 14 de outubro de 2011;
- e) 11 de novembro de 2011;
- f) 09 de dezembro de 2011;
- g) 06 de janeiro de 2012;
- h) 10 de fevereiro de 2012;
- i) 09 de março de 2012;
- j) 04 de maio de 2012.

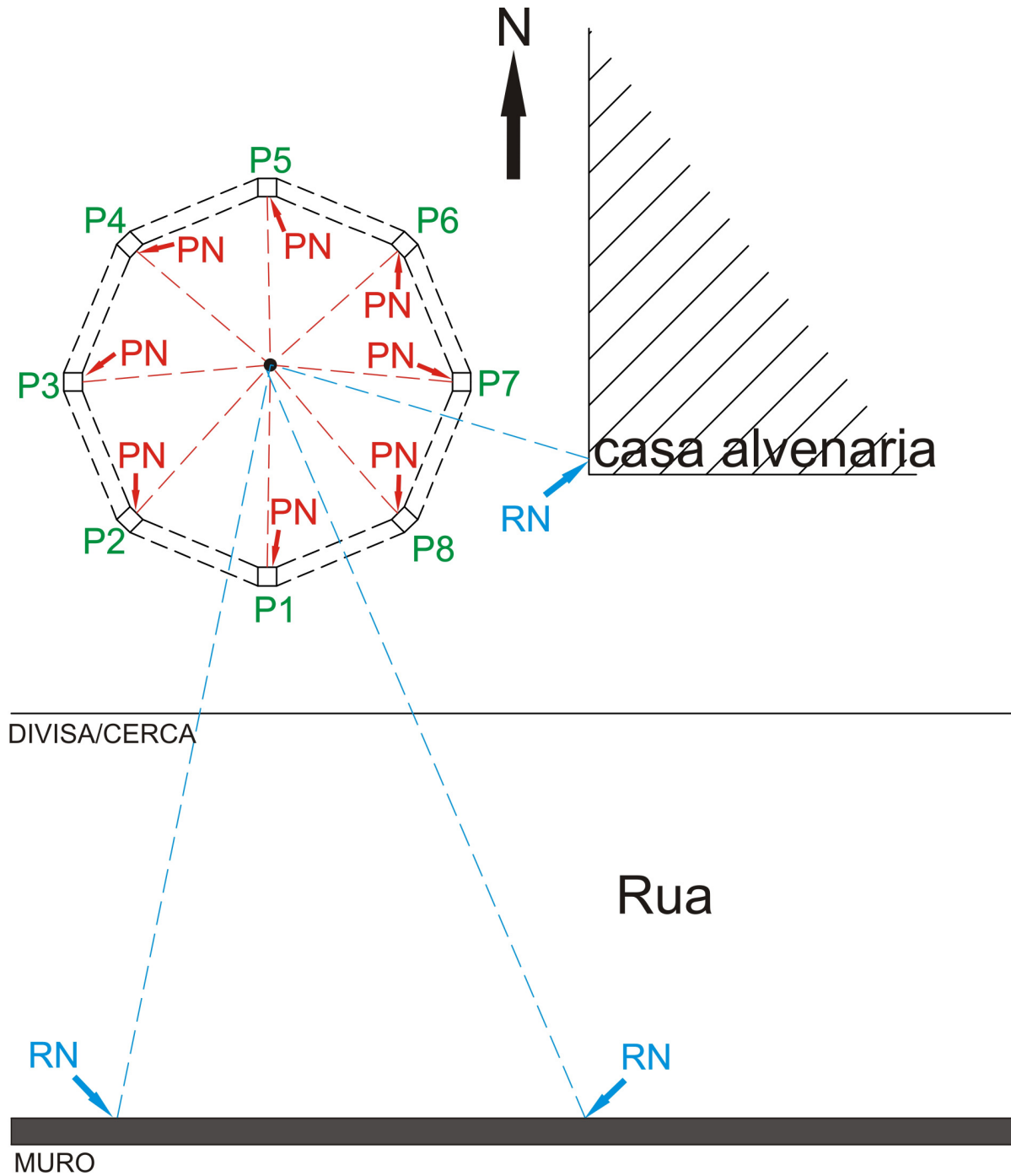


Figura 3.8 – Monitoramento do recalque da estrutura.
 Fonte: autor (2011).

A metodologia definida para o monitoramento dos recalques da estrutura foi desenvolvida de modo que para as leituras não seja necessário o acompanhamento de um profissional auxiliar, apenas o operador do Nível Óptico, reduzindo-se dessa forma erros operacionais e custos. Esse procedimento leva em torno de 1 hora e 30 minutos. Todas as

medições obedeceram a rígidos princípios de técnicas operacionais, de forma a minimizar erros sistemáticos (instrumentais e ambientais).

Um dos condicionantes de ajudaram no desenvolvimento dessa técnica foram as características do local, em que existem poucos obstáculos, assim todos os pontos podem ser visíveis do mesmo ponto de instalação do equipamento.

3.1.1.4 Equipamentos Utilizados

Para a realização da implantação e as medições da metodologia de monitoramento os equipamentos utilizados foram:

- a) Nível Automático Nikon AZ 2F (Figura 3.9).
- b) Régua metálica milimétrica.



Figura 3.9 – Nível Automático Nikon AZ 2F.
Fonte: Autor (2011).

O nível Automático Nikon AZ 2F, classificado como pertencente à classe de níveis de precisão alta de acordo com a NBR 13133:1994, tem as seguintes características técnicas:

- a) desvio padrão para 1 km de: 0,2 mm;
- b) aumento da luneta: 24 vezes;
- c) distância de foco mínimo: 0,75 m.

Foi escolhido esse equipamento para a realização das medições, por ser de fácil manuseio e instalação, baixo custo e de uso popular entre os profissionais das áreas de engenharia e topografia, com o objetivo de sempre facilitar o monitoramento dos recalques da estrutura.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS

As leituras efetuadas durante o monitoramento foram anotadas em caderneta de campo apropriada e transcritas para planilhas Excel, para análise das séries de leituras de nivelamento, e cálculo das diferenças de nível em relação ao plano topográfico definido para cada leitura. Para a análise dos dados de campo determinaram-se os seguintes parâmetros estatísticos relativos às diferenças de nível calculadas em cada série de leituras:

- média dos recalques em cada pilar a partir das 3 leituras;
- velocidade dos recalques por pilar ($\mu\text{mm}/\text{dia}$).

Os dados processados alimentaram uma planilha geral das séries realizadas para balizamento da análise da evolução do comportamento dos recalques observados, contendo os seguintes elementos:

- a) data da realização;
- b) recalques parcial e total;
- c) velocidade de recalque ($\mu\text{mm}/\text{dia}$) parcial e total.

As figuras 4.1, 4.1, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 mostram as evoluções dos recalques nos pilares e recalques totais até a 10^a série de leituras na figura 4.9, ambos representados em forma de gráfico, traçado no Excel.

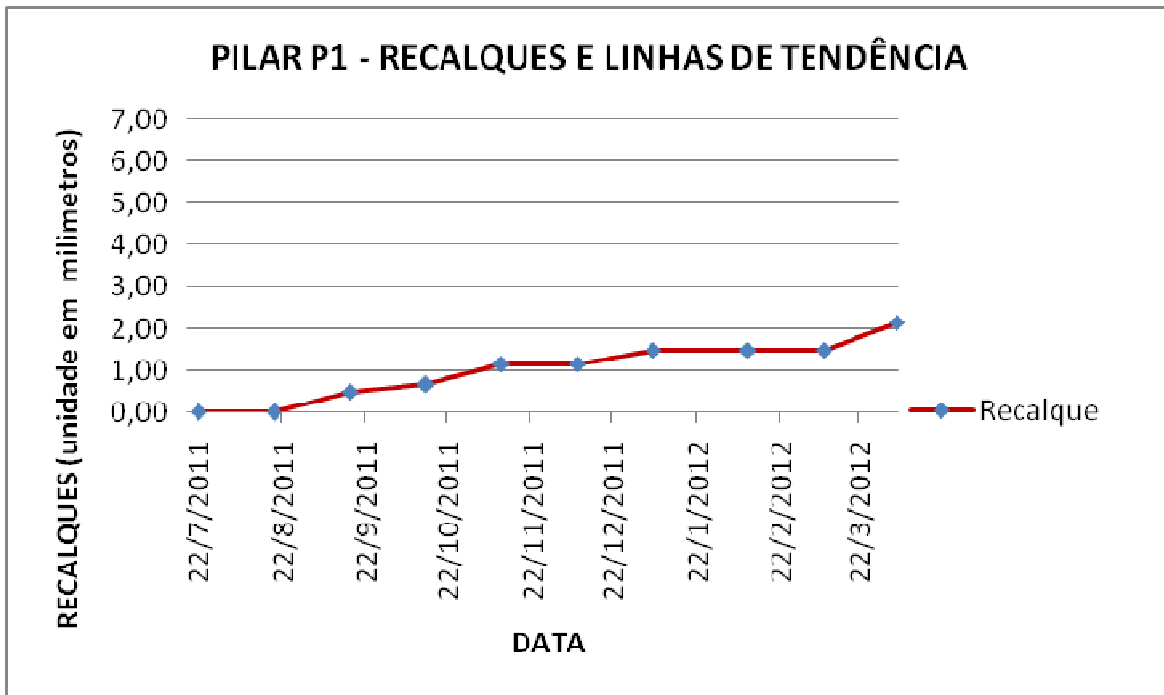


Figura 4.1 – Evolução dos recalques observados no pilar P1.
Fonte: Autor (2012).

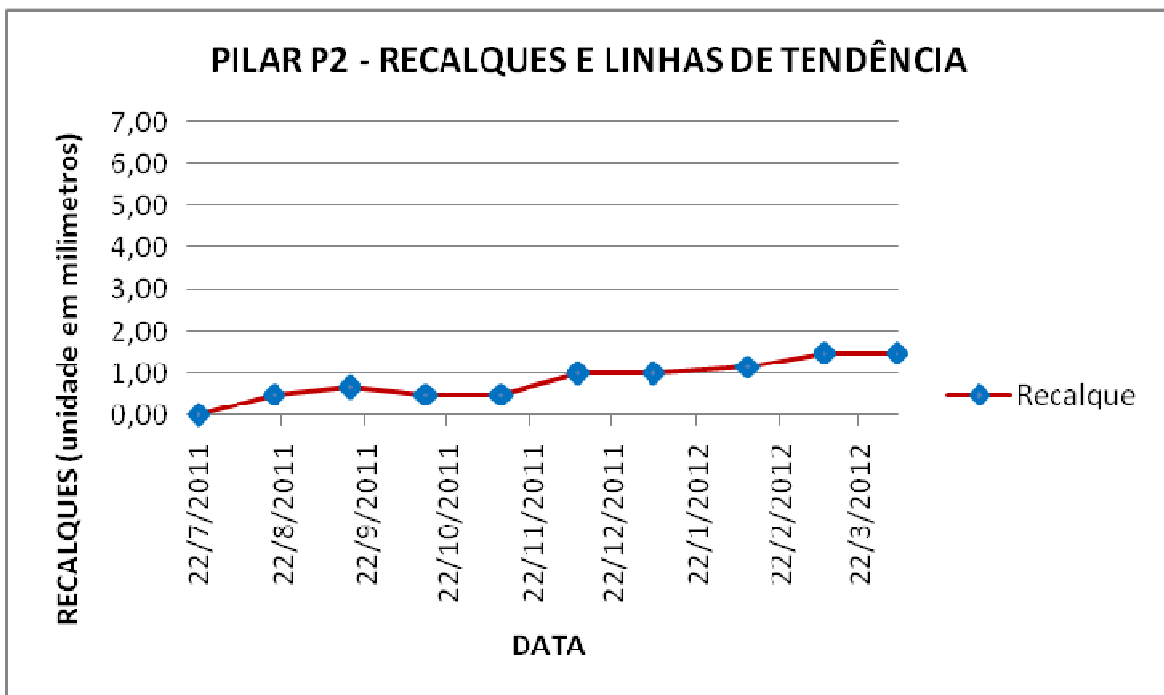


Figura 4.2 – Evolução dos recalques observados no pilar P2.
Fonte: Autor (2012).

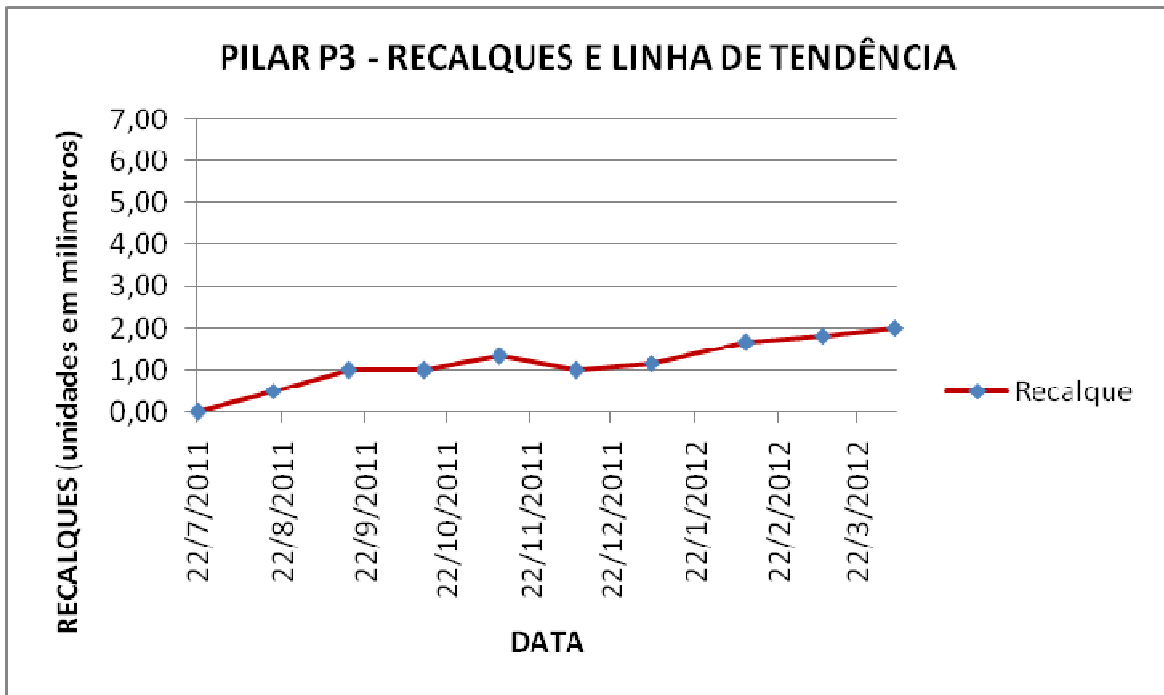


Figura 4.3 – Evolução dos recalques observados no pilar P3.
Fonte: Autor (2012).

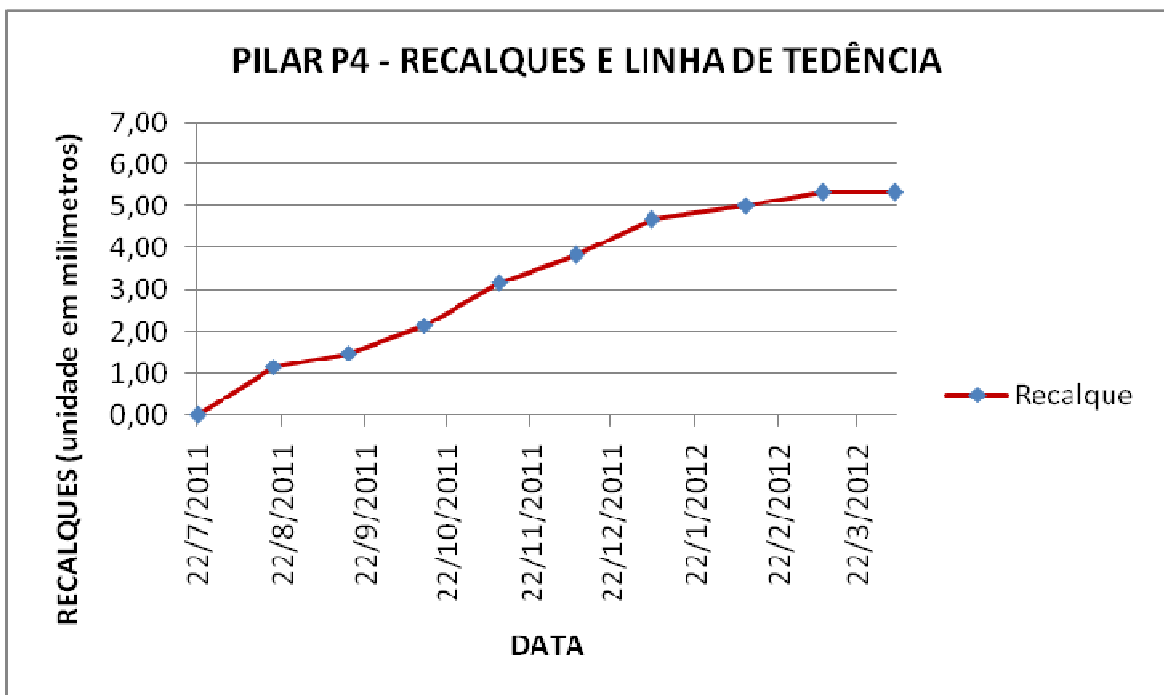


Figura 4.4 – Evolução dos recalques observados no pilar P4.
Fonte: Autor (2012).

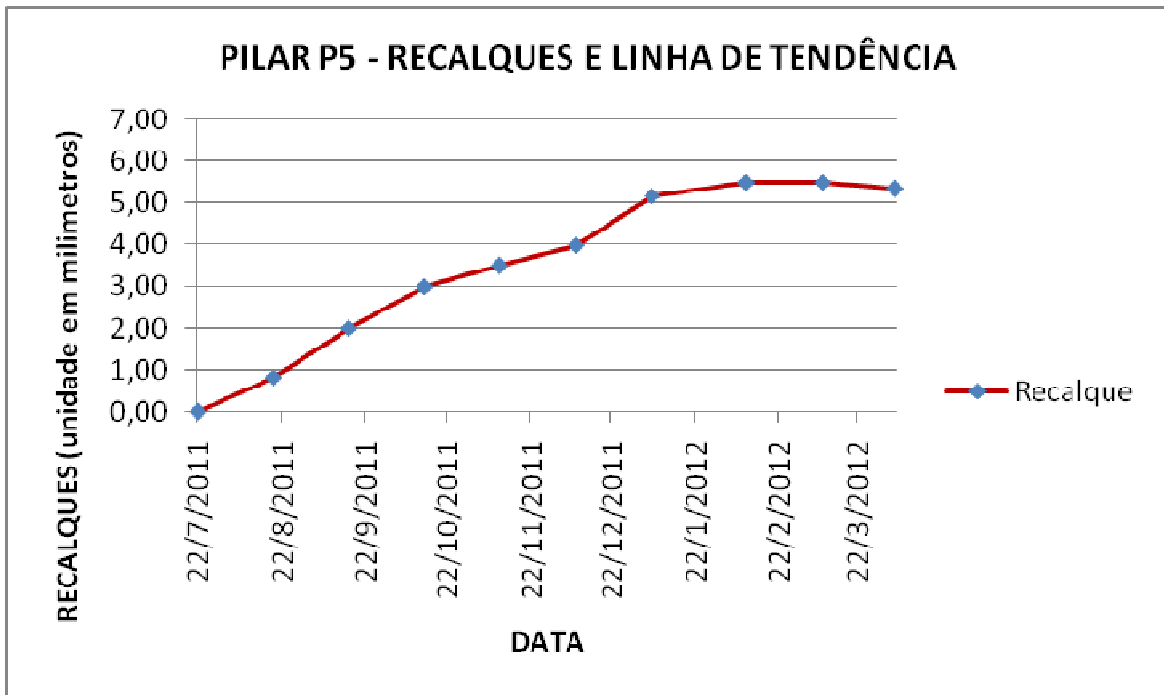


Figura 4.5 – Evolução dos recalques observados no pilar P5.
Fonte: Autor (2012).

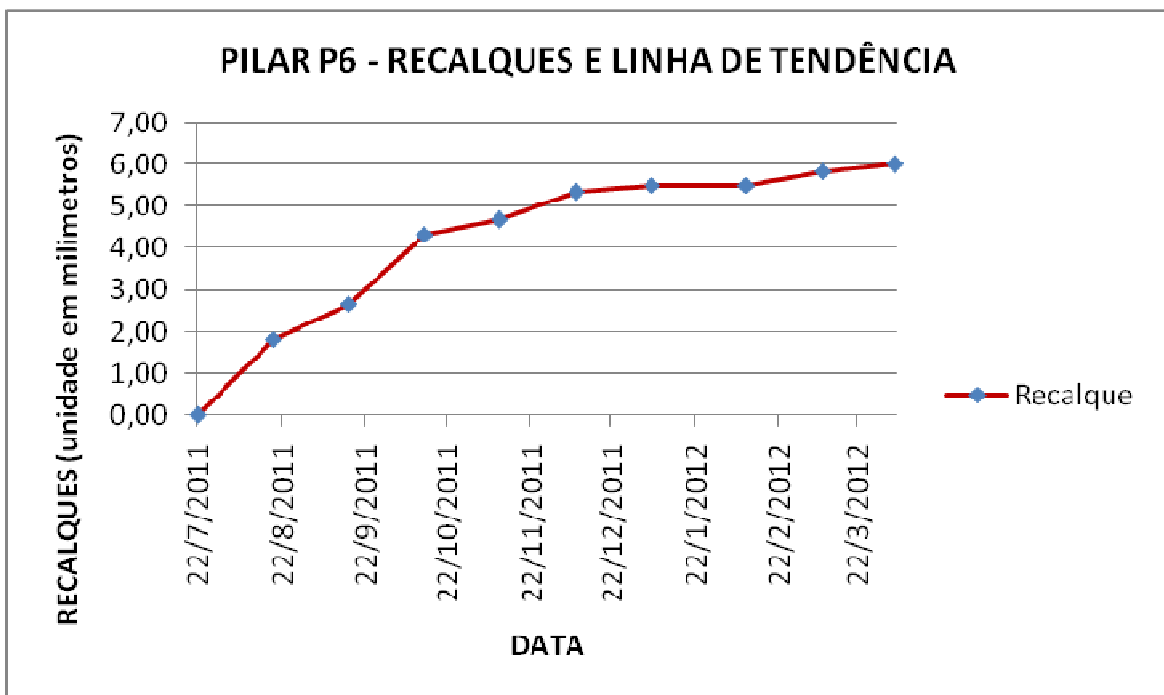


Figura 4.6 – Evolução dos recalques observados no pilar P6.
Fonte: Autor (2012).

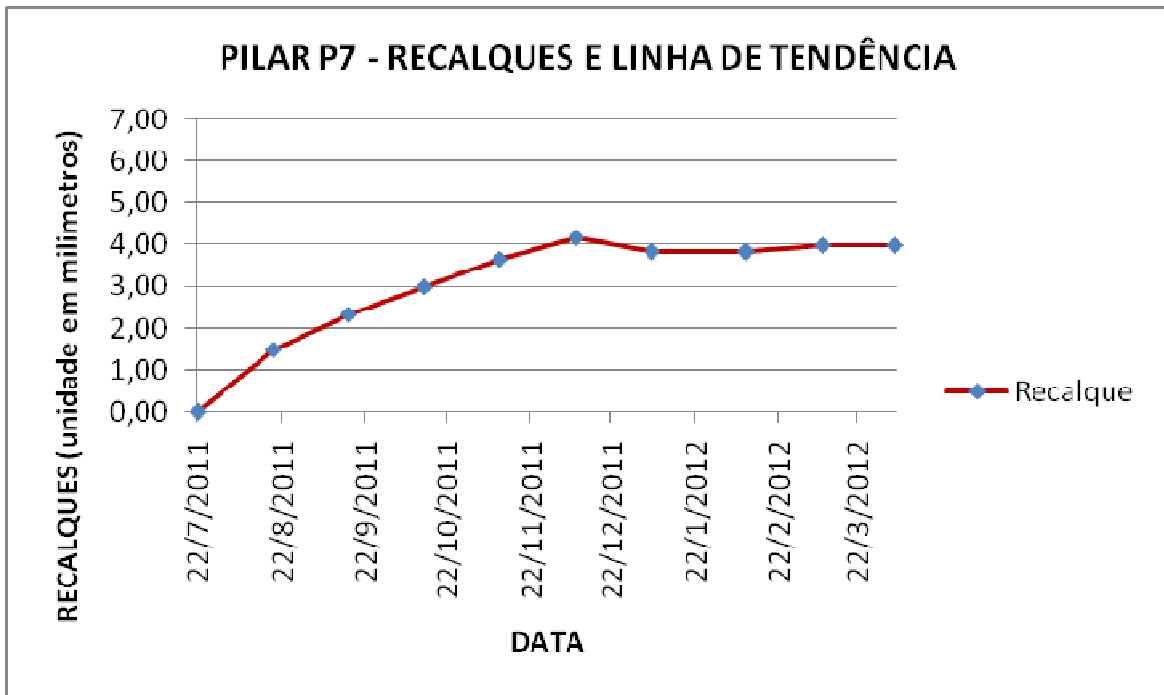


Figura 4.7 – Evolução dos recalques observados no pilar P7.
Fonte: Autor (2012).

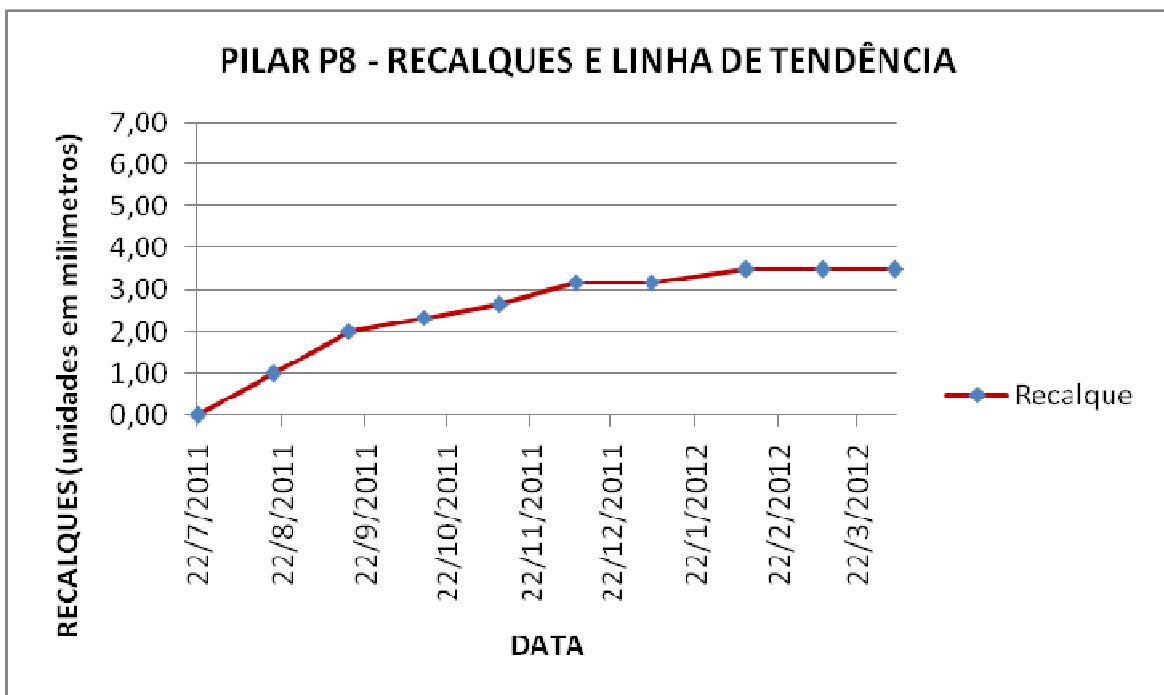


Figura 4.8 – Evolução dos recalques observados no pilar P8.
Fonte: Autor (2012).

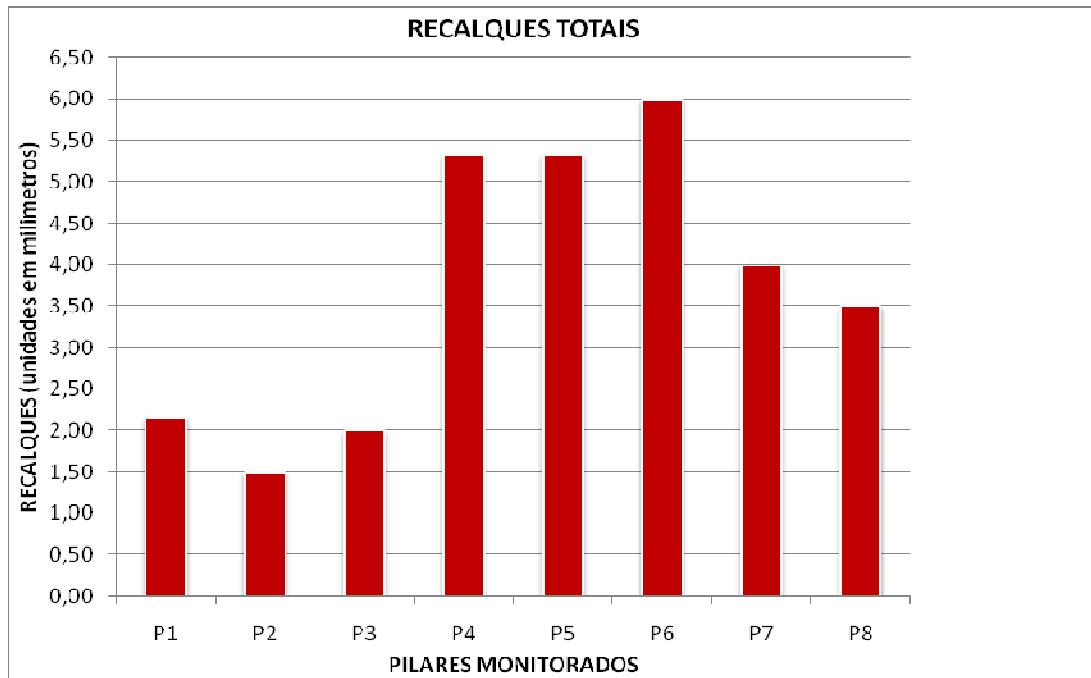


Figura 4.9 – Recalques totais
Fonte: Autor (2012)

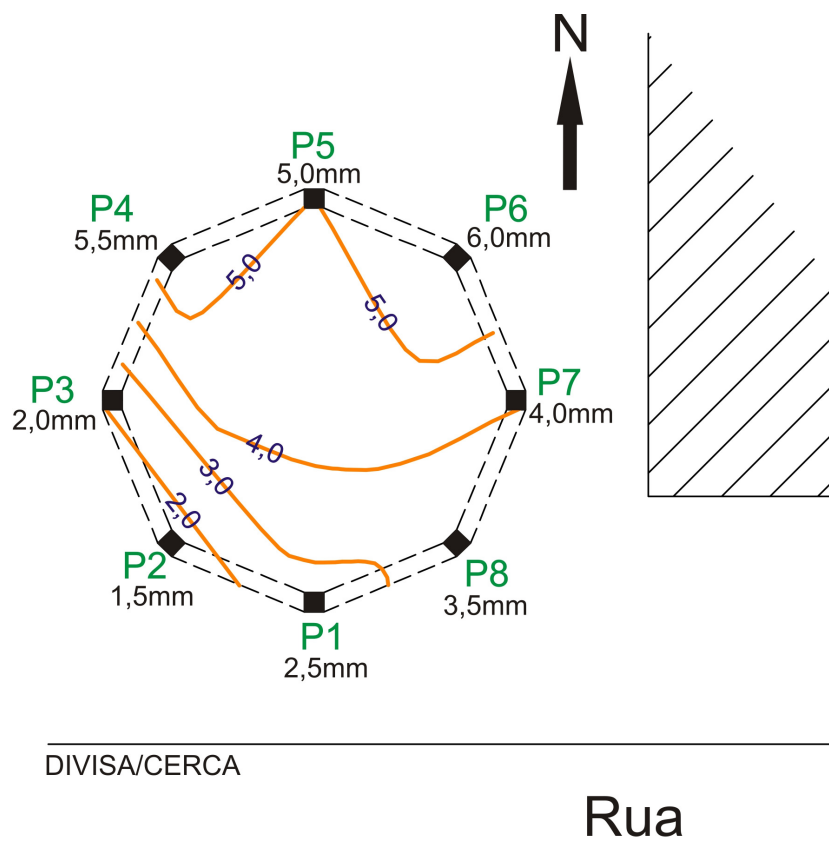


Figura 4.10 – Curvas de iso-recalques (valores totais)
Fonte: Autor (2012)

Como o levantamento dos recalques foi feito somente a partir do dia 22 de julho de 2011, não existem valores da velocidade das deformações anteriores a esta data, portanto a velocidade começou a ser definida a partir do dia 19 de agosto de 2012, sendo representado pelo gráfico da figura 4.11.

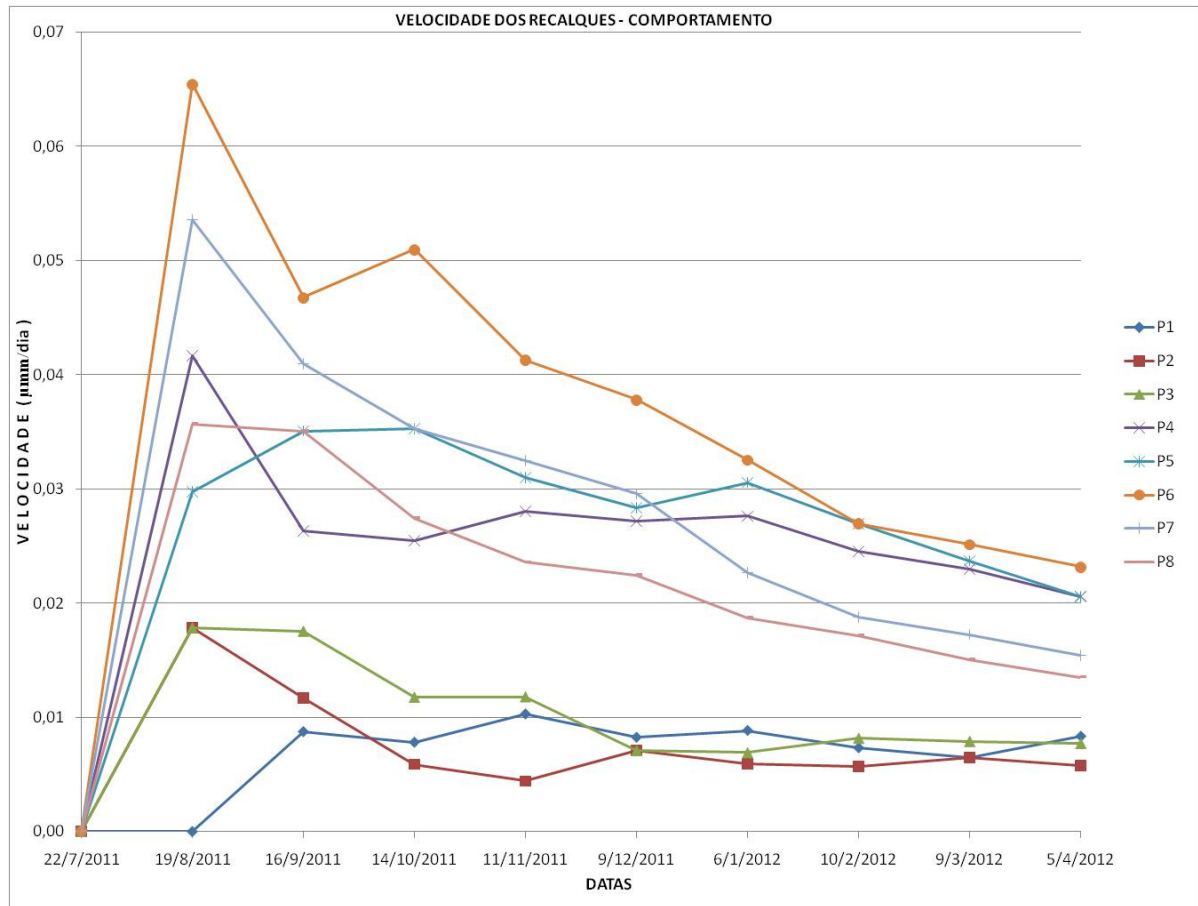


Figura 4.11 – Velocidade dos Recalques - Comportamento

Fonte: Autor (2012)

O recalque diferencial expressa o deslocamento desigual entre as fundações:

$$\Delta\rho = r_B - r_A \quad (4.1)$$

Onde r é o recalque sofrido na fundação do pilar, no cálculo foi calculada a diferença entre r do Pilar 2 menos r do Pilar 1 e assim por diante.

Os recalques diferenciais são medidos em termos relativos, considerando-se a distorção que é dada pela razão do recalque diferencial e a distância entre dois pilares.

$$\Delta\rho/\ell \quad (4.2)$$

No caso da estrutura estudada, as distâncias entre os pilares são iguais, sendo $\ell = 283$ mm

Assim o recalque diferencial pode ser expresso de modo relativo, pois a distorção é adimensional. O parâmetro que controla a tensão admissível de projeto é o recalque da fundação e não a capacidade de carga de ruptura.

Os recalques diferenciais da estrutura estudada estão expressos na figura 4.12.

RECALQUES		
Recalques Totais	$\Delta\rho = rB-rA$ (mm)	$\Delta\rho/l$
2,5	1,0	0,003533569
1,5	-0,5	-0,001766784
2,0	-3,5	-0,012367491
5,5	0,5	0,001766784
5,0	-1,0	-0,003533569
6,0	2,0	0,007067138
4,0	0,5	0,001766784
3,5	1,0	0,003533569

Figura 4.12 – Recalques totais e diferenciais.

Fonte: Autor (2012)

CAPITULO V

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusões e recomendações

Esse trabalho tem como objetivo determinar uma metodologia para o monitoramento de estruturas, em escala natural, sob condições normais, sendo nesse caso monitorado um reservatório d'água elevado de concreto com a utilização do levantamento topográfico de nivelamento geométrico, em que os valores de recalque são obtidos de forma direta.

Essa metodologia envolveu a medição de deslocamentos verticais nos pilares (recalque), a partir da qual obtém-se o comportamento da estrutura. O monitoramento de estruturas deve ser de uso habitual, considerando se a utilização de técnicas e equipamentos de precisão de fácil utilização, tornando uma ferramenta para garantir a qualidade, segurança e confiança das estruturas, da forma que seja economicamente viável.

O equipamento utilizado, Nível Óptico, é de fácil operação, leve e de baixo custo, comparando com outros equipamentos de topografia, assim diminuindo as dificuldades de aplicação da metodologia.

Os dados levantados nesse trabalho foram obtidos para fins de testes de confirmação de funcionamento da metodologia desenvolvida, sendo feitos periodicamente, dessa forma obtendo a velocidade de recalque ($\mu\text{mm}/\text{dia}$) parcial e total de forma precisa em quem os dados medidos possam ser analisados periodicamente também, no decorrer do tempo analisado.

Da forma em que as medições foram realizadas, os resultados obtidos são obtidos de forma direta e com consistência; os recalques da estrutura foram obtidos simultaneamente no mesmo instante das leituras

A metodologia desenvolvida nesse trabalho, da forma que foi planejada, diminui os erros decorrentes em levantamentos topográficos de nivelamento geométrico, especificamente os erros de operação e sistemáticos. Com a definição de um plano topográfico inicial para as leituras, as mesmas são realizadas de forma direta, e ainda especificamente nessa construção,

todos os pontos de Referência e Nível e Pontos de Níveis dos pilares podiam ser vistos e lidos na mesma “instalada” do equipamento.

Dessa forma os dados obtidos eram anotados na planilha, sem a necessidade de cálculos em campo, evitando assim mais possíveis erros de processamento manual, sendo apenas calculada a média aritmética simples.

Os valores obtidos apontam à confiabilidade da metodologia utilizada, mostrando ser possível desenvolver monitoramentos com os mesmos critérios de confiabilidade com equipamentos que propiciem menores orçamentos, com excelente relação custo-benefício.

Considerando-se que a metodologia desenvolvida e aplicada foi em reservatório d'água elevado de concreto, observa-se que a mesma pode ser aplicada em diferentes tipos de estruturas e construções, não apenas medições de recalques, mas também diferentes deformações estruturais.

Para manter a Referências de Nível, independentes do comportamento da estrutura de concreto, para melhorar a qualidade dos dados levantados, acompanhando os movimentos dos pontos observados.

A materialização das Referências de Nível e os Pontos de Nível, devem sempre ser fixados junto a estrutura, preferencialmente com cola tipo epóxi, e em locais de acesso ao público ou movimentação de equipamentos que possam arrancar os pontos, é importante parafusar também. O material indicado para a materialização são réguas metálicas, com a graduação gravada em relevo, além de pintada, para não perder as referências de valores.

No planejamento dos pontos de níveis a serem monitorados, se possível deve-se evitar a instalação de pontos em distâncias muito longas, pois se notou que quanto mais longe a posição da régua metálica, mais difícil de visualizar a graduação dos valores, sendo aconselhável leituras em distância máxima de 10 m.

Com o decorrer da metodologia desse trabalho e a verificação dos dados obtidos, a mesma demonstrou-se adequada, recomenda-se que o monitoramento seja feito periodicamente, caso a velocidade do recalque seja alta, diminuir o período das leituras, sendo especificado pelo profissional responsável pelo monitoramento da estrutura.

Na maioria das vezes o monitoramento de estruturas é iniciado quando os acidentes estruturais são percebidos de forma avançada, podendo ser diagnosticados precocemente se todas as estruturas fossem monitoradas desde o início da construção até o decorrer de sua utilização plena.

A metodologia desenvolvida em diferentes tipos de estrutura, sendo de concreto moldado no local, pré-fabricado, alvenarias ou metálica, em reservatórios, edifícios, pavilhões, etc.

A mesma utilizada e aplicada nesse trabalho é simples de executar e analisar os dados obtidos, sem a necessidade de grandes conhecimentos técnico em topografia e estatística, podendo ser aplicada por técnicos da área de topografia e geodésia, arquitetos e engenheiros, reduzindo custos e popularizando o monitoramento de estruturas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 13.133 – *Execução de Levantamento Topográfico*. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 6122 – *Projeto e Execução de Fundações*. Rio de Janeiro, 1996.

BELL, J. B. *Fundações em Concreto Armado – Segunda Edição*, Editora Guanabara Dois S. A.. Rio de Janeiro, 1985.

CASACA, J. M.; MATOS, J. L.; DIAS, J. M. B. *Topografia Geral – 4ª edição Atualizada e aumentada*. Editora LTC, rio de Janeiro, 2007.

CHAVES, J. C. *Uso da Tecnologia GPS na Monitoração de Deformação: Sistemas, Etapas e Experimentos*. Tese de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2001.

KRELLING, P. C. L. *Concepção de um Inclímetro Foto Mecânico para controle Geodésico de Estruturas*. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

MATOS, S. F. *Avaliação de Instrumentos para Auscultação de Barragem de Concreto. Estudo de Caso: Deformímetros e Tensômetros para Concreto na Barragem de Itaípu*. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

MOURA, M. R. C. *Medição de Recalques em Estruturas de Pontes e Edifícios: Estudos de Casos*. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal Fluminense – Niterói. 2008.

SÊCO E PINTO, P. S. *Algumas Reflexões sobre instrumentação de Estruturas Geotécnicas IN: Documentos Workshop em Engenharia de Fundaciones (Touring Lecture) Sociedad Chilena de Geotecnia, Santiago, Chile, 2006.*

ZOCOLOTTI FILHO, C. A. *Utilização de Técnicas de Poligonação de Precisão para o Monitoramento de Pontos Localizados em Galerias de Inspeção: Estudo de Caso da U.H. de Saltos Caxias*. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

PETROBRAS. N – 1811: *Instalação de referência de nível profunda*. Brasil, 2005.

VIACARTA CARTOGRAFIA E AGRIMENSURA. *Pinos de monitoramento*. Curitiba, 2007.

GAGG, G. *Auscultação gravimétrica na região da Barragem Bento Munhoz da Rocha*. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) - Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR, Curitiba, 1997.

APÊNDICES

Apêndice A – Planilha do levantamento dos recalques.

PRIMEIRA LEITURA										
Data	22/7/2011	19/8/2011	16/9/2011	14/10/2011	11/11/2011	9/12/2011	6/1/2012	10/2/2012	9/3/2012	5/4/2012
P1	0,00	0,00	0,50	0,67	1,17	1,17	1,50	1,50	1,50	2,17
P2	0,00	0,50	0,67	0,50	0,50	1,00	1,00	1,17	1,50	1,50
P3	0,00	0,50	1,00	1,00	1,33	1,00	1,17	1,67	1,83	2,00
P4	0,00	1,17	1,50	2,17	3,17	3,83	4,67	5,00	5,33	5,33
P5	0,00	0,83	2,00	3,00	3,50	4,00	5,17	5,50	5,50	5,33
P6	0,00	1,83	2,67	4,33	4,67	5,33	5,50	5,50	5,83	6,00
P7	0,00	1,50	2,33	3,00	3,67	4,17	3,83	3,83	4,00	4,00
P8	0,00	1,00	2,00	2,33	2,67	3,17	3,17	3,50	3,50	3,50
SEGUNDA LEITURA										
Data	22/7/2011	19/8/2011	16/9/2011	14/10/2011	11/11/2011	9/12/2011	6/1/2012	10/2/2012	9/3/2012	5/4/2012
P1	0,0	0,0	0,5	0,5	1,0	1,0	1,5	1,5	1,5	2,0
P2	0,0	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0	1,5	1,5
P3	0,0	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,5	2,0
P4	0,0	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	4,5	5,0	5,5	5,5
P5	0,0	1,0	2,0	3,0	3,5	4,0	5,0	5,5	5,5	5,5
P6	0,0	2,0	2,5	4,0	4,5	5,5	5,5	5,5	6,0	6,0
P7	0,0	1,5	2,5	3,0	3,5	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
P8	0,0	1,0	2,0	2,5	2,5	3,0	3,0	3,5	3,5	3,5
TERCEIRA LEITURA										
Data	22/7/2011	19/8/2011	16/9/2011	14/10/2011	11/11/2011	9/12/2011	6/1/2012	10/2/2012	9/3/2012	5/4/2012
P1	0,0	0,0	0,5	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0
P2	0,0	0,5	1,0	0,5	0,5	1,0	1,0	1,5	1,5	1,5
P3	0,0	0,5	1,0	1,0	1,5	1,0	1,5	1,5	2,0	2,0
P4	0,0	1,0	1,5	2,5	3,0	3,5	5,0	5,5	5,0	5,0
P5	0,0	0,5	2,0	3,0	3,5	4,5	5,5	5,5	6,0	5,5
P6	0,0	1,5	3,0	4,0	5,0	5,5	5,5	5,5	6,0	6,0
P7	0,0	1,5	2,5	3,0	3,5	4,5	4,0	3,5	4,0	4,0
P8	0,0	1,0	2,0	2,5	3,0	3,0	3,5	3,5	3,5	3,5
RECALQUES TOTAIS - RESULTANTES MÉDIAS ARITMÉTICAS										
Data	22/7/2011	19/8/2011	16/9/2011	14/10/2011	11/11/2011	9/12/2011	6/1/2012	10/2/2012	9/3/2012	5/4/2012
P1	0,0	0,0	0,5	0,5	1,0	1,0	1,5	1,5	1,5	2,5
P2	0,0	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0	1,5	1,5
P3	0,0	0,5	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0
P4	0,0	1,5	1,5	2,0	3,5	4,0	4,5	4,5	5,5	5,5
P5	0,0	1,0	2,0	3,0	3,5	3,5	5,0	5,5	5,0	5,0
P6	0,0	2,0	2,5	5,0	4,5	5,0	5,5	5,5	5,5	6,0
P7	0,0	1,5	2,0	3,0	4,0	4,0	3,5	4,0	4,0	4,0
P8	0,0	1,0	2,0	2,0	2,5	3,5	3,0	3,5	3,5	3,5