UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COECI - COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

HELOISA GIOVANA CIBULSKI

APERFEIÇOAMENTO E ANÁLISE DE APARATO EXPERIMENTAL PARA O MONITORAMENTO DE RECALQUES EM EDIFICAÇÕES

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO
2016

HELOISA GIOVANA CIBULSKI

APERFEIÇOAMENTO E ANÁLISE DE APARATO EXPERIMENTAL PARA O MONITORAMENTO DE RECALQUES EM EDIFICAÇÕES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Me. Guilherme Alan Souza Costa

TOLEDO

2016

Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Toledo
Coordenação do Curso de Engenharia Civil

TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso de Nº 024

Aperfeiçoamento e análise de aparato experimental para o monitoramento de recalques em edificações

por

Heloisa Giovana Cibulski

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 13h do dia **13 de junho de 2016** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Civil.** Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO.**

Prof. Me. Gustavo Savaris
(UTFPR – TD)

Profª Dr. Maurício do Espirito Santo Andrade
(UTFPR – TD)

Prof. Me. Guilherme Alan Souza Costa
(UTFPR – TD)
Orientador

Visto da Coordenação
Prof. Dr. Lucas Boabaid Ibrahim
Coordenador da COECI

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades encontradas.

Agradeço meus pais, Antonio e Marli Cibulski, minha irmã, Patrícia Cibulski, por sempre acreditarem no meu potencial e me incentivarem a continuar.

Agradeço ao Eduardo Santos Allievi, pelo amor, apoio e compreensão, estando sempre ao meu lado ajudando a superar os problemas do caminho.

Agradeço ao Prof. Dr. Sérgio Antonio Brum Junior, por toda a assistência prestada com a montagem e ideias para o trabalho.

Agradeço ao Prof. Me. Guilherme Alan Souza Costa, pela atenção e contribuição dada a este trabalho.

Muito obrigada ao Prof. Me. Gustavo Savaris pelo auxílio prestado com materiais e ideias para a execução do TCC.

Obrigada ao Prof. Dr. Maurício do Espírito Santo Andrade, membro da banca, pelas opiniões e sugestões dadas de maneira a engrandecer o trabalho.

Agradeço a Flavia de Fatima Emi Murakami pelo apoio na montagem inicial e nos primeiros ensaios realizados.

Também agradeço ao Marcos, técnico do laboratório, que ajudou com a execução das montagens do aparato de medição de recalques.

“Nunca deixe ninguém dizer que você não pode fazer alguma coisa. Se você tem um sonho, tem que correr atrás dele. As pessoas não conseguem vencer, e dizem que você também não vai vencer. Se quer alguma coisa, corre atrás.”

(*À procura da felicidade*. Dirigido por Gabriele Muccino. 2007. EUA: Columbia Pictures do Brasil. Filme.).

RESUMO

CIBULSKI, Heloisa Giovana. Aperfeiçoamento e análise de aparato experimental para o monitoramento de recalques em edificações. 2016. 63p. Trabalho de conclusão de curso. Coordenação do curso de Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo, 2016.

O presente trabalho aborda pesquisas laboratoriais que envolvem o estudo de um aparato de medição de recalques em obras buscando melhorias nas leituras dadas pelo equipamento, de forma que sua utilização seja expandida e satisfatória em relação aos resultados. As análises realizadas envolvem diversos fatores como o estudo de coloração na água, uso do *flash* ou a não utilização do mesmo, coloração da placa de alumínio de fundo, estudo de pressões, abertura de lente, diferentes distâncias objeto-observador, porém sempre centralizado com o equipamento, utilização de pressões negativas e qual sua influência sobre o menisco. Além disso, é realizada a montagem do aparato em laboratório sobre o equipamento de compressão simples, fazendo-se deslocamentos monitorados e comparando-os com os obtidos pelo aparato. Pôde ser concluído que o uso de cores verde e vermelha, uso do *flash* e do fundo branco foram positivos, e o uso de pressão não se mostrou eficaz. Quando analisado o deslocamento real (efetivamente aplicado) pelo lido pelo equipamento, obtiveram-se bons resultados, com uma pequena margem de erro.

Palavras-chaves: Recalque. Aparato de medição. Monitoramento de recalques. Fundações.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Recalques absolutos (r1 e r2) e diferenciais (r1-r2) (ALONSO, 1991). 15
Figura 2 - Problema analisado por Poulos e Davis. 18
Figura 3 - Fatores para cálculo de recalque de estacas: (a) fator Io; (b) influência da compressibilidade da estaca; (c) espessura (finita) do solo compressível; (d) coeficiente de Poisson do solo. (Poulos; Davis, 1974). Extraído de Veloso e Lopes (2010). 20
Figura 4 - Fator de correção para a base da estaca em solo mais rígido: (a) para L/B=75; (b) para L/B=50; (c) para L/B=25; (d) para L/B=10; (e) para L/B=5 (Poulos e Davis, 1974). Extraído de Veloso e Lopes (2010) 21
Figura 5 - Propagação de tensões devido à reação de ponta. (CINTRA e AOKI, 2010) 24
Figura 6 - Curva resultado da prova de carga (ALONSO, 1991) 26
Figura 7 - Detalhe do pino de leitura de recalque (ALONSO,1991). 27
Figura 8 - Referência de nível profundo (ALONSO,1991). 27
Figura 9 - Sistema de medição de recalques com nível de mangueira. (BARROS, 2005). 28
Figura 10 - Equipamento de medição de recalques 32
Figura 11 - Atividades programadas 33
Figura 12 - Prensa de compressão simples 35
Figura 13 - Extensômetro comparador 36
Figura 14 - Marcações na placa de alumínio 37
Figura 15 - Análise de dados no Corel Draw 38
Figura 16 - Imagem com água em estado natural, sem fundo e sem *flash* 39
Figura 17 - Imagem com água no estado natural, sem fundo e com *flash* 40
Figura 18 - Coloração vermelha, sem fundo branco, sem *flash* 40
Figura 19 - Coloração verde, sem fundo branco, sem *flash* 41
Figura 20 - Coloração marrom, sem fundo branco, sem *flash* 41
Figura 21 - Coloração vermelha, sem fundo branco, com *flash* 41
Figura 22 - Coloração verde, sem fundo branco, com *flash* 42
Figura 23 - Coloração marrom, sem fundo branco, com *flash* 42
Figura 24 - Sem coloração, com fundo branco, sem *flash* 43
Figura 25 - Coloração vermelha, com fundo branco, sem *flash* 43
Figura 26 - Coloração verde, com fundo branco, sem *flash* 43
Figura 27 - Coloração marrom, com fundo branco, sem *flash* 44
Figura 28 - Sem coloração, com fundo branco, com *flash* 44
Figura 29 - Coloração vermelha, com fundo branco, com *flash* 45
Figura 30 - Coloração verde, com fundo branco, com *flash* 45
Figura 31 - Coloração marrom, com fundo, com *flash* 45
Figura 32 - Dificuldade do foco – distância de 13cm com lente 55mm 46
Figura 33 -Aplicação de -100mmHg a esquerda. Imagem sem aplicação de pressão a direita. Imagens feitas com *flash*. 47

Figura 34 - Aplicação de -200mmHg a esquerda. Imagem sem aplicação de pressão a direita. Imagens feitas com *flash* 48
Figura 35 - Aplicação de -300mmHg a esquerda. Imagem sem aplicação de pressão a direita. Imagens feitas com *flash* 48
Figura 36 - Aplicação de -400mmHg a esquerda. Imagem sem aplicação de pressão a direita. Imagens feitas com *flash* 49
Figura 37 - Aplicação de -500mmHg a esquerda. Imagem sem aplicação de pressão a direita. Imagens feitas com *flash* 49
Figura 38 - Aplicação de -600mmHg a esquerda. Imagem sem aplicação de pressão a direita. Imagens feitas com *flash* 50
Figura 39 - Aparelho montado para simular monitoramento por aparato real 51
Figura 40 - Pontos de retirada da altura do menisco 52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fatores de forma Is para carregamento na superfície de um meio de espessura infinita (Perloff, 1975). Extraído de Velloso e Lopes (2010). 16
Tabela 2 - Valores de Is.Ih para carregamentos na superfície de um meio de espessura finita (Harr, 1966). Extraído de Velloso e Lopes (2010). 17
Tabela 3 - Modelo da planilha auxiliar para o cálculo dos recalques 51
Tabela 4 - Leitura obtida para o levantamento retirada do ponto mais baixo do menisco 53
Tabela 5 - Leitura obtida para o levantamento retirado do ponto central do menisco 54
Tabela 6 - Leitura obtida para o rebaixamento retirado do ponto mais baixo do menisco 54
Tabela 7 - Leitura obtida para o rebaixamento retirada do ponto central do menisco 54

LISTA DE SÍMBOLOS

A – área da seção transversal da estaca

B – diâmetro do fuste da estaca

Bb – diâmetro da base da estaca

Bs – menor dimensão da sapata

D - diâmetro da estaca

E – módulo de elasticidade da camada de solo

E_b – módulo de elasticidade sob a base

E_c – Módulo de elasticidade do concreto

E_s – módulo de elasticidade do solo

E_0 – módulo de deformabilidade do solo antes da execução da estaca

E_y – Módulo de Young

h – espessura da camada compressível

I_s – Fator da forma da sapata e de sua rigidez

I_d – Fator de profundidade/embutimento

I_h – Fator de espessura de camada compressível

I_o – Fator de influência, dado pela divisão entre o diâmetro da base da estaca e diâmetro da estaca, e também pela divisão do comprimento pela base da estaca

K – relação entre os módulos de elasticidade da estaca e do solo

L – comprimento da estaca

N – número de golpes no ensaio SPT

q - pressão média aplicada

q_{adm} – tensão em kgf/cm²

Q – carga no topo da estaca

R_k – Fator de correção de compressibilidade da estaca

R_h – Fator de correção para espessura h de solo compressível

R_v – Fator de correção para coeficiente de Poisson do solo

R_b – Fator de correção para base ou ponta em solo mais rígido

υ – Coeficiente de Poisson

ω_{adm} – recalque admissível, em polegadas

σ_0 – tensão geostática no centro da camada

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12

1.1 JUSTIFICATIVA 13
1.2 OBJETIVO 13
1.2.1 Objetivos Específicos 13

2 RECALQUES 14

2.1 MÉTODOS DE ESTIMATIVAS DE RECALQUES 15
2.1.1 Métodos racionais 15
2.1.2 Métodos semiempíricos 22
2.1.3 Ensaio de placa 26
2.2 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE RECALQUE EM OBRA 26
2.2.1 Nível geométrico 28
2.2.2 Nível d'água 28
2.3 ESTUDOS SOBRE O ASSUNTO 29

3 MATERIAIS E MÉTODOS 31

3.1 APARATO DE MEDIÇÃO 31
3.2 MONTAGEM E FIXAÇÃO DO APARATO 32
3.3 FLUXOGRAMA DE ATIVIDADES PROGRAMADAS 32
3.4 ESTUDO DE CORES NA ÁGUA E COLORAÇÃO DA PLACA DE ALUMÍNIO 33
3.5 CAPTURA DE IMAGENS 34
3.6 APLICAÇÃO DE PRESSÃO 34
3.7 COMPARAÇÃO DO DESLOCAMENTO DO PRATO DA PRENSA DE COMPRESSÃO SIMPLES COM A LEITURA DO APARATO 35
3.8 ANÁLISE DE DADOS 36

4 RESULTADOS 39

4.1 ESTUDO DE CORES DO LÍQUIDO, FUNDO DA IMAGEM E FLASH 39
4.2 DISTÂNCIA DA CÂMERA E DA LENTE 46
4.3 APLICAÇÃO DE PRESSÃO 47
4.4 ANÁLISE DOS DESLOCAMENTOS LIDOS PELO EQUIPAMENTO COM OS DESLOCAMENTOS REAIS 50

5 CONCLUSÕES 56

5.1 TRABALHOS FUTUROS 57

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA 59

ANEXO A – TABELA DE CÁLCULOS AUXILIARES 61

1 INTRODUÇÃO

Casas, prédios, pontes, barragens. As obras estão presentes no dia a dia trazendo às cidades melhor qualidade de vida as pessoas que ali residem. E como alicerce de toda construção, tem-se as fundações, que transferem todo o carregamento da estrutura para o solo, que suporta os carregamentos oriundos das estruturas e os dissipa.

Em virtude da grande importância que as fundações possuem para a segurança da obra, ela deve ser projetada de forma a garantira a funcionalidade e durabilidade. Além disso, também deve-se garantir a qualidade de execução e de controle, fazendo-se necessário estudos quando as mesmas já estiverem sendo executadas.

Um dos problemas que surgem ao controlar fundações, é que as estruturas ficam abaixo do solo, não sendo possível inspecioná-las depois de construídas, diferente das vigas, pilares e lajes que permitem visualizar problemas estruturais ocorridos.

Ainda, em consequência do solo ser um material natural de construção, torna-se difícil ter controle sobre seu comportamento, as previsões dos deslocamentos verticais – os recalques – calculados anteriormente à fase de execução, devido a incertezas, usam valores estimados.

Por isso, quando executado um projeto, é de grande valia que durante a construção façam-se medidas de controle dos recalques, como uma forma de garantir a segurança, funcionalidade e durabilidade da construção, comparando os valores obtidos com os valores calculados em projeto, podendo assim prever eventuais problemas, a fim de evitar danos.

Uma das formas de controle se dá através da utilização de medidores de recalque, e que devido as medidas de deslocamentos serem por vezes na ordem de milímetros, quanto maior precisão o medidor apresentar, melhor será a qualidade dos resultados. Devido a isso, o trabalho estudará formas de reduzir erros de um aparato de medição de recalques, para que o mesmo seja mais preciso.

1.1 Justificativa

O estudo dos recalques nas estruturas é importante pois com ele é possível avaliar com mais clareza qual o deslocamento descendente do solo e com o controle aumenta-se a qualidade da edificação. Em razão disso, o estudo e aprimoramento do instrumento utilizado para a medição desses deslocamentos é de grande importância.

Sabe-se que o recalque traz efeitos não desejados a estrutura, como rachaduras, trincas e até a possível ruína do mesmo. Por isso, caso ocorra o monitoramento das movimentações pode-se fazer medidas corretivas em fase de execução de obra, o que gera menor custo do que aplicá-las quando em fase de ocupação.

Com isso, o estudo e aprimoramento do medidor de recalque em estudo é interessante e pertinente, pois além de ser um método que não gera grandes custos, ainda auxilia na qualidade da obra e na possível correção de erros.

1.2 Objetivo

O objetivo desse trabalho é aprimorar o aparato e a metodologia de análise de recalque, a qual utiliza o princípio dos vasos comunicantes para sua medição, e o uso da captura de imagens que são analisadas computacionalmente.

1.2.1 Objetivos Específicos

O presente trabalho buscará analisar qual a influência que o uso de corantes na água gera na leitura de dados, a influência da superfície de fundo, também avaliar quais os efeitos da aplicação de pressão geram sobre o menisco e ainda, comparar os deslocamentos reais com os obtidos pelo aparato.

2 RECALQUES

Na composição do solo tem-se basicamente água, partículas sólidas, ar e por vezes matéria orgânica. Qualquer acréscimo de carga nos solos faz com que ocorra deformação, sendo que essa pode ser maior ou menor, causando ou não problemas a estrutura e ao solo, tal deformação é conhecida como recalque.

O recalque ocorre quando um elemento estrutural sofre movimentação vertical descendente da base em relação à superfície do terreno. (OLIVEIRA, 2012). Dependendo da intensidade com que ocorre tal movimentação, pode causar danos graves à superestrutura (REBELLO, 2008).

Segundo Corrêa (2012) o recalque acontece em toda estrutura, mas dependendo da magnitude com que ocorre não causa grandes problemas. Também afirma que o controle é de fundamental importância, desde a sua identificação até a estabilização, para evitar problemas de instabilidade da estrutura.

Uma dessas falhas ocorridas é o aparecimento de trincas que se dá devido aos deslocamentos diferenciais ao longo das fundações da obra, gerando grandes tensões na estrutura e podendo gerar a patologia (OLIVEIRA, 2012).

Velloso e Lopes (2010) citam os tipos de deformações que podem surgir no solo devido ao carregamento causado por uma fundação:

- Recalque instantâneo ou imediato: ocorre imediatamente após a aplicação da carga;
- Recalque por adensamento: acontece devido a pressão das cargas da fundação, que geram a expulsão de água do maciço de solo, reduzindo o índice de vazios.
- *Creep* ou fluência: são deformações inelásticas dependentes do tempo, sob a ação de um carregamento constante.

A soma do recalque por adensamento, o instantâneo e por fluência, resulta no recalque total.

Segundo Alonso (1991) quanto a um referencial de posição o recalque pode ser de dois tipos: recalque absoluto, que é o deslocamento vertical descendente de um elemento de fundação (r1 e r2); ou recalque diferencial, que ocorre quando dois elementos de estrutura de fundação possuem recalques absolutos diferentes (r1-r2). Tal como indica a Figura 1.

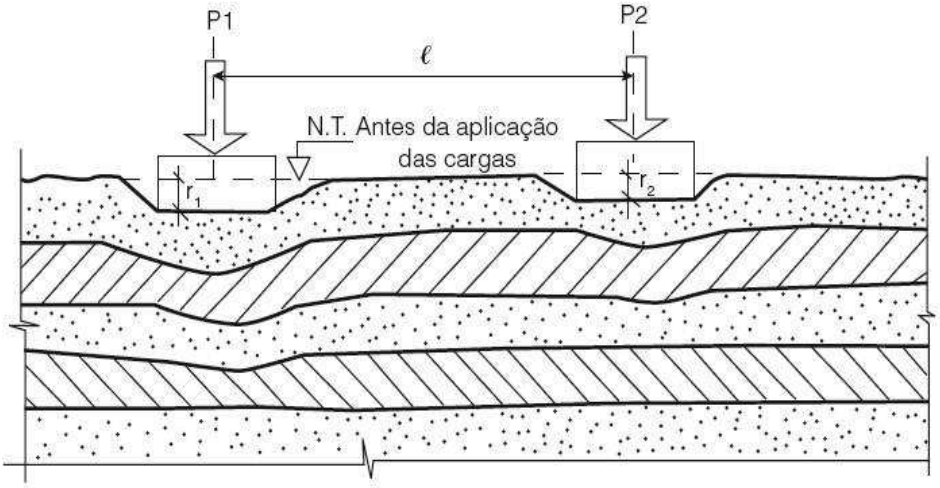

Figura 1 - Recalques absolutos (r1 e r2) e diferenciais (r1-r2) (ALONSO, 1991).

Quando trata-se de recalques diferenciais, Thomaz (1989) cita os fatores que causam a não constância de valores de deformações e da capacidade de carga, sendo eles:

- Tipo e estado do solo;
- Disposição do lençol freático;
- Intensidade de carga, tipo de fundação, e cota de apoio da fundação;
- Dimensão e formato da placa carregada (retangular, circular, quadrada);
- Influência das fundações vizinhas.

Ainda, segundo a NBR 6122/2010 existe o recalque por distorção angular, que é calculado pela razão entre o recalque diferencial de dois elementos de fundação pela distância entre eles. Isto indica que a simples avaliação da magnitude dos recalques não é suficiente para embasar uma análise dos seus efeitos, é preciso conhecer os recalques dos apoios vizinhos e as distâncias entre vãos para então examinar as implicações destas distorções.

2.1 Métodos de estimativas de recalques

2.1.1 Métodos racionais

2.1.1.1 Sapatas

O método racional de cálculo direto de recalques, é feito com base na Teoria da Elasticidade. Para sapatas com carga centrada, tem-se que:

$$\rho = qB_s \frac{1-\upsilon^2}{E_y} I_s I_d I_h \quad (1)$$

onde:

q – tensão média aplicada;

Bs – menor dimensão da sapata;

υ – Coeficiente de Poisson;

E_y – Módulo de Young;

I_s – Fator da forma da sapata e de sua rigidez;

I_d – Fator de profundidade/embutimento;

I_h – Fator de espessura de camada compressível.

Para o fator de embutimento recomenda-se a utilização com restrição, podendo-se assim desprezar esse fator.

Já no fator de forma de sapata (I_s), quando em meio de espessura infinita, podem ser utilizados os valores dados na Tabela 1. Nesse caso, os valores de fator de espessura (I_h) é de 1,0.

Tabela 1 - Fatores de forma Is para carregamento na superfície de um meio de espessura infinita (Perloff, 1975). Extraído de Velloso e Lopes (2010).

	Flexível			Rígida
Forma	**Centro**	**Borda**	**Média**	
Círculo	1,00	0,64	0,85	0,79
Quadrado	1,12	0,56	0,95	0,99
Retângulo				
L/B= 1,5	1,36	0,67	1,15	
2	1,52	0,76	1,30	
3	1,78	0,88	1,52	
5	2,10	1,05	1,83	
10	2,53	1,26	2,25	
100	4,00	2,00	3,70	
1000	5,47	2,75	5,15	
10000	6,90	3,50	6,60	

Onde L é a maior dimensão da sapata e B a menor dimensão da sapata.

Para uma superfície de espessura finita, utiliza-se $I_s.I_h$ como sendo os fatores dados na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores de Is.Ih para carregamentos na superfície de um meio de espessura finita (Harr, 1966). Extraído de Velloso e Lopes (2010).

		Retângulo						
h/a	**Círculo**	**m=1**	**m=2**	**m=3**	**m=5**	**m=7**	**m=10**	**m=∞**
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,2	0,096	0,096	0,098	0,098	0,099	0,099	0,099	0,100
0,5	0,225	0,226	0,231	0,233	0,236	0,237	0,238	0,239
1	0,396	0,403	0,427	0,435	0,441	0,444	0,446	0,452
2	0,578	0,609	0,698	0,727	0,748	0,757	0,764	0,784
3	0,661	0,711	0,856	0,910	0,952	0,964	0,982	1,018
5	0,740	0,800	1,010	1,119	1,201	1,238	1,256	1,323
7	0,776	0,842	1,094	1,223	1,346	1,402	1,442	1,532
10	0,818	0,873	1,155	1,309	1,475	1,556	1,619	1,758
∞	0,849	0,946	1,300	1,527	1,826	2,028	2,246	∞

h=espessura do meio; a=B/2; m=L/B

2.1.1.2 Estacas

Baseado na Teoria da Elasticidade, Poulos e Davis (1980, *apud* Velloso e Lopes, 2010) estudaram o comportamento carga-recalque das estacas. Para essa metodologia de cálculo proposta, tem-se a estaca dividida em partes uniformemente carregadas, compatibilizando os deslocamentos da estaca e do solo adjacente para cada unidade dividida.

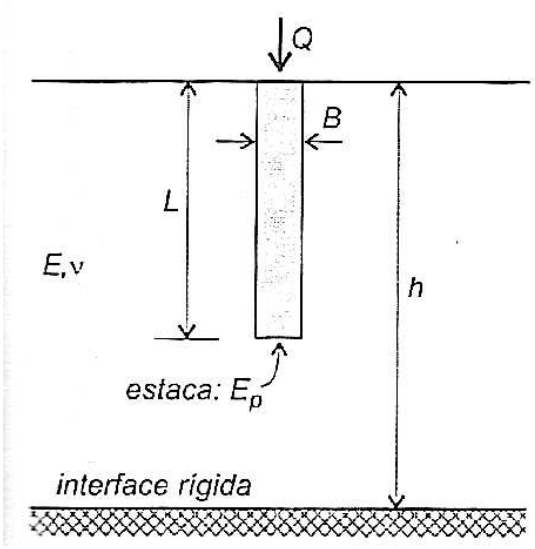

Figura 2 - Problema analisado por Poulos e Davis.

Na ocasião da existência de uma estaca incompressível em meio elástico semi-infinito, e com coeficiente de Poisson igual a 0,5, o recalque é dado por:

$$\omega = \frac{QI_0}{ED} \tag{2}$$

onde:

D - diâmetro da estaca;

I_o – Fator de influência, dado pela divisão entre o diâmetro da base da estaca e diâmetro da estaca, e também pela divisão do comprimento pela base da estaca;

E – módulo de elasticidade do solo;

Q – carga no topo da estaca.

Já na situação de existência de uma estaca compressível, em solo infinito com ponta em solo resistente e valor de coeficiente de Poisson variável, é proposto:

$$\omega = \frac{QI}{ED} \tag{3}$$

sendo:

$$I = I_0 R_k R_h R_v R_b \quad (4)$$

onde:

R_k – Fator de correção de compressibilidade da estaca;

R_h – Fator de correção para espessura h de solo compressível;

R_v – Fator de correção para coeficiente de Poisson do solo;

R_b – Fator de correção para base ou ponta em solo mais rígido.

Tais fatores de correção, são obtidos através de ábacos ilustrados na Figura 3 e Figura 4.

A Figura 3 apresenta os gráficos para determinação dos fatores necessários para o cálculo do recalque pelo método de Poulos e Davis, onde:

Bb – diâmetro da base da estaca

B – diâmetro do fuste da estaca

L – comprimento da estaca

h – espessura da camada compressível

υ – Coeficiente de Poisson

K – relação entre os módulos de elasticidade da estaca e do solo.

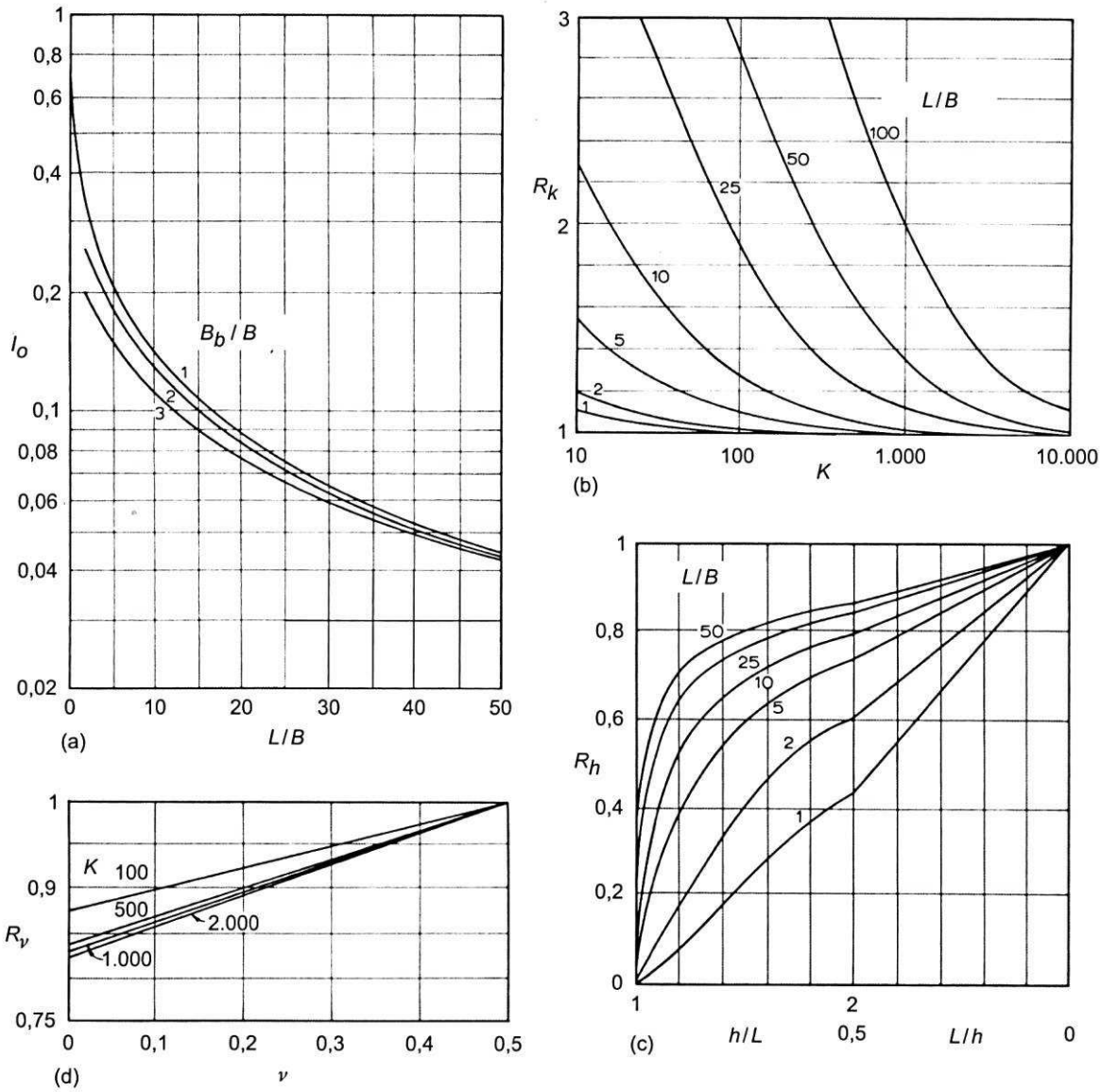

Figura 3 - Fatores para cálculo de recalque de estacas: (a) fator Io; (b) influência da compressibilidade da estaca; (c) espessura (finita) do solo compressível; (d) coeficiente de Poisson do solo. (Poulos; Davis, 1974). Extraído de Veloso e Lopes (2010).

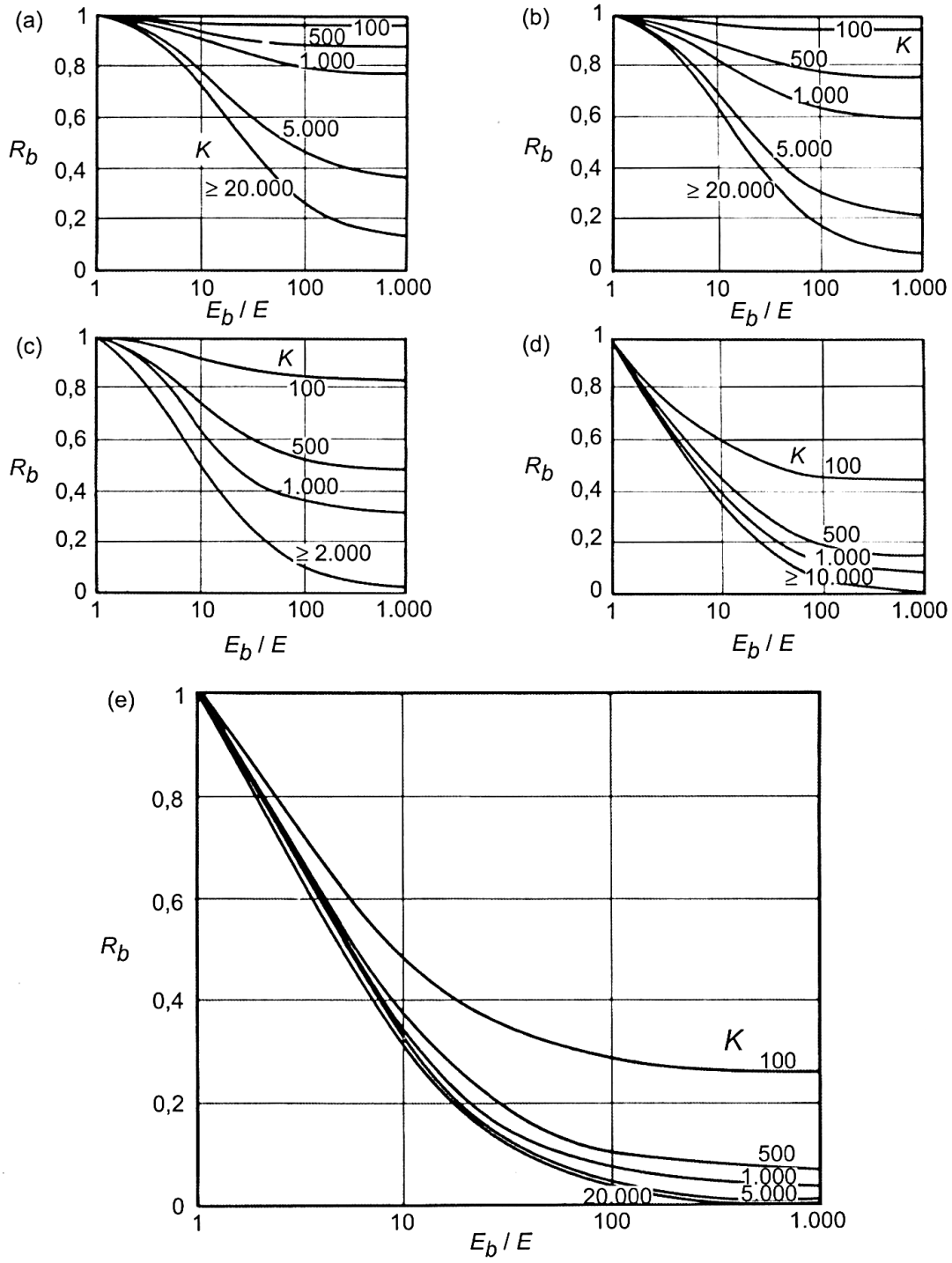

Figura 4 - Fator de correção para a base da estaca em solo mais rígido: (a) para L/B=75; (b) para L/B=50; (c) para L/B=25; (d) para L/B=10; (e) para L/B=5 (Poulos e Davis, 1974). Extraído de Veloso e Lopes (2010)

Na Figura 4, Eb e E representam respectivamente o módulo de elasticidade do solo sob a base da estaca e o módulo de elasticidade do solo na região do fuste.

2.1.2 Métodos semiempíricos

2.1.2.1 Sapatas

Para o cálculo de recalque em sapatas por métodos semiempíricos, tem-se estudos que se basearam em SPT.

Inicialmente, Terzagui e Peck (1948,1967, *apud* Velloso e Lopes, 2010) indicaram que a tensão necessária para provocar recalque de uma polegada (2,54cm) em solos arenosos pode ser obtida por:

$$q_{adm} = 4{,}4\left(\frac{N-3}{10}\right)\left(\frac{B+1'}{2B}\right)^2 \quad (5)$$

onde:

q_{adm} – tensão em kgf/cm², que produz recalque=1" (2,54cm);

B – menor dimensão em pés (B≥4' ou 1,22m);

N – número de golpes no ensaio SPT.

Caso ocorra a existência de água em nível superficial, a tensão admissível deve ser reduzida à metade.

Já Meyerhof (1965, *apud* Velloso e Lopes, 2010) fez relações com SPT para estudo de recalques em areia, e apresenta a seguinte equação:

$$q_{adm} = \frac{N\omega_{adm}}{8}\ para\ B \leq 4' \quad (6)$$

$$q_{adm} = \frac{N\omega_{adm}}{12}\left(\frac{B+1'}{B}\right)^2\ para\ B > 4' \quad (7)$$

sendo:

B – menor dimensão da sapata, em pés;

ω_{adm} – recalque admissível, em polegadas;

q_{adm} – tensão em kgf/cm²

Tanto a teoria de Meyerhof quanto a de Terzagui e Peck são conservadoras.

2.1.2.2 Estacas

Quando tem-se uma estaca qualquer, de comprimento L, embutido no terreno, uma aplicação de carga qualquer, produzirá dois tipos de deformações, a de encurtamento elástico da própria estaca e deformações verticais de compressão do solo subjacentes a base da estaca. Então, o recalque total como sendo a soma desses dois tipos de deformações:

$$\rho = \rho_e + \rho_s \tag{8}$$

Para a parcela de encurtamento elástico, utiliza-se a Lei de Hooke, obtendo a seguinte formulação:

$$\rho_e = \frac{1}{AE_c}\sum(Pi.Li) \tag{9}$$

onde:

A – área da seção transversal da estaca

E_c – Módulo de elasticidade do concreto

Para valores de E_c, pode-se adotar:

E_c = 28 a 30 GPa para estaca pré-moldada;

E_c = 21 GPa para hélice contínua, Franki;

E_c = 18 GPa para Strauss e escavada a seco.

Já a parcela de recalque do solo, de acordo com Vesic (1975, *apud* Cintra e Aoki, 2010), é o deslocamento calculado pela soma da parcela relativa ao recalque de ponta e a parcela do recalque das cargas laterais:

$$\rho_s = \rho_{s,p} + \rho_{s,l} \tag{10}$$

Calculando pelo método de estimativa de recalques de Aoki (1984, *apud* Cintra e Aoki, 2010), considera-se uma carga P, vertical e para baixo, aplicada no solo, que gera acréscimo de tensões nas camadas abaixo desse ponto de aplicação (Figura 5). Seja uma camada de espessura H e h a distância entre a aplicação da força e o topo da camada analisada, temos a expressão para o meio da camada em análise:

$$\Delta\sigma_p = \frac{4P_p}{\pi\left(D + h + \frac{H}{2}\right)^2} \tag{11}$$

em que D é o diâmetro da estaca analisada.

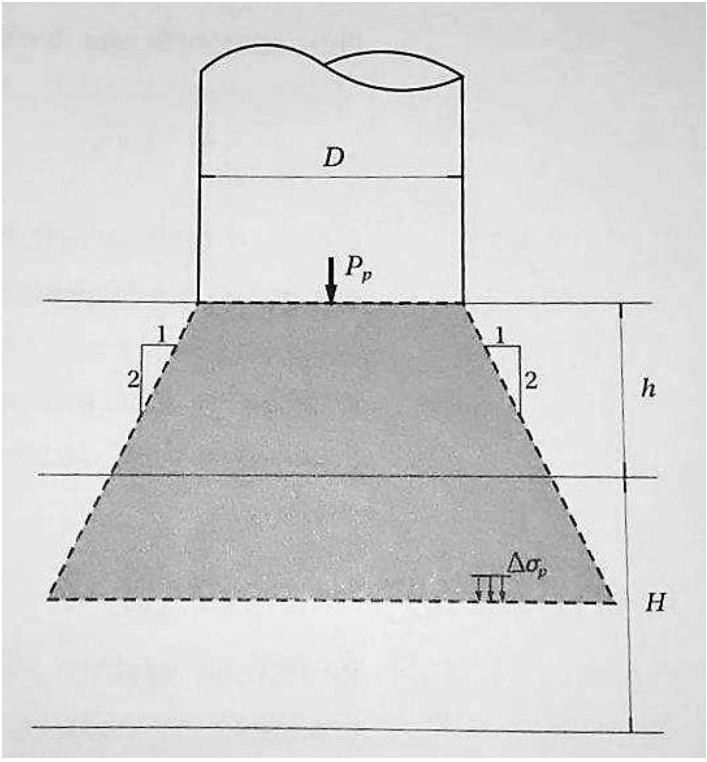

Figura 5 - Propagação de tensões devido à reação de ponta. (CINTRA e AOKI, 2010)

Para essa equação considerou-se um espraiamento com relação 1:2, equivalente a um ângulo de aproximadamente 63° com a horizontal. É preciso

ressaltar que a área da base de espraiamento é função deste ângulo o qual é definido conforme o tipo de solo onde se encontra a fundação.

Além do acréscimo de tensões calculado para a ponta da estaca, deve-se também, analisar qual o acréscimo de tensões devido à resistência pela lateral, através da seguinte equação (12):

$$\Delta\sigma_i = \frac{4R_{Li}}{\pi\left(D + h + \frac{H}{2}\right)^2} \tag{12}$$

Considerando todas as parcelas de R_{Li} mais a força P_p, obtêm-se o acréscimo total de tensões:

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma_p + \Sigma\Delta\sigma_i \tag{13}$$

Esse processo é repetido para todas as camadas a partir da ponta da estaca até o indeslocável.

Após o cálculo do acréscimo de tensões total, pode-se então estimar qual o recalque devido ao solo:

$$\rho_s = \sum\left(\frac{\Delta\sigma}{E_s}\right)H \tag{14}$$

Do qual E_s é o módulo de deformabilidade da camada de solo, e que seu valor é obtido por:

$$E_s = E_0\left(\frac{\sigma_0 + \Delta\sigma}{\sigma_0}\right)^n \tag{15}$$

onde:

E_0 – módulo de deformabilidade do solo antes da execução da estaca;

$E_0 = 6\ K\ N_{spt}$ para estacas cravadas;

$E_0 = 4\ K\ N_{spt}$ para estacas hélice contínua;

$E_0 = 3\ K\ N_{spt}$ para estacas escavadas;

O valor de K é dado por Aoki-Velloso.

σ_0 – tensão geostática no centro da camada;

n – expoente que depende da natureza do solo; n = 0,5 para material granular e n = 0 para argilas duras e rijas.

2.1.3 Ensaio de placa

É um ensaio regulamentado pela norma NBR 6489 (ABNT, 1984) no qual utiliza-se uma placa rígida, com área mínima de 0,5m².

A execução do ensaio é feita de forma a aplicar no máximo 20% da carga admissível provável do solo em cada estágio. As medidas de recalques devem ser retiradas imediatamente após a aplicação de carga e posteriormente a cada intervalo de tempo. Apenas será possível fazer um novo carregamento quando o recalque que está sendo medido se estabilizar.

O ensaio deve ser feito até que se atinja 25mm de recalque ou então que chegue ao dobro admitido para o solo.

Os resultados obtidos de tal ensaio, fornecerão uma curva tensão-recalque (Figura 6) onde estarão fornecidas as informações sobre o ensaio no início e fim de cada carregamento.

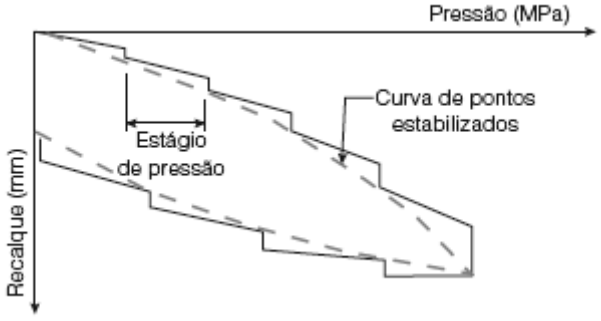

Figura 6 - Curva resultado da prova de carga (ALONSO, 1991)

2.2 Métodos de avaliação de recalque em obra

O método mais utilizado para medidas de recalque em obra é feito através da fixação de pontos de referência, todos nivelados em relação a uma referência fixa de

nível. Esses pontos são fixados nas estruturas, geralmente nos pilares, servindo de apoio para a leitura. Tais pontos de referência são constituídos por duas partes: a fêmea – que é alocada dentro da estrutura – e a macho – que é colocada apenas quando se realiza as leituras, conforme ilustrado na Figura 7.

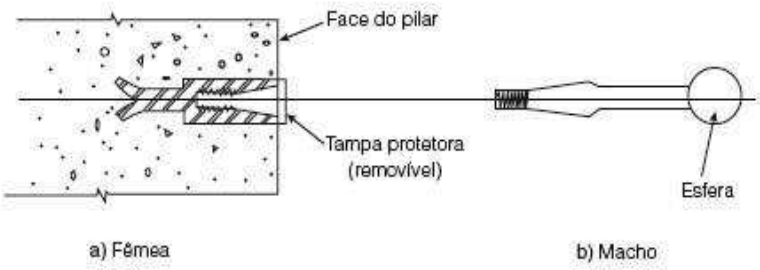

Figura 7 - Detalhe do pino de leitura de recalque (ALONSO,1991).

Já a referência de nível fixa deve ser implantada de forma a não atrapalhar a obra e não sofrer deslocamentos. Sua instalação geralmente é feita através de injeções de nata de cimento, em camadas profundas, a fim de tornar o objeto indeslocável, método conhecido como *bench mark.* Tal referência é construída a partir de um tubo de uma polegada de diâmetro e protegida por um outro tubo externo de duas polegadas de diâmetro, instalados em um furo de sondagem à percussão. Injeta-se entre os tubos graxa grafitada e anticorrosiva para evitar influência do tubo interno sobre o externo (Figura 8) (ALONSO,1991).

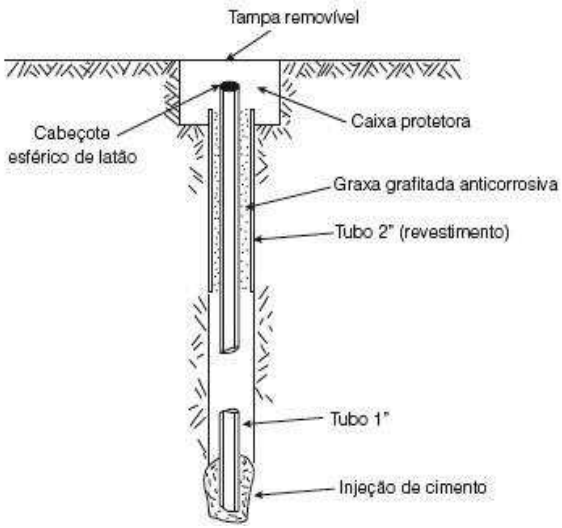

Figura 8 - Referência de nível profundo (ALONSO,1991).

A partir dessa montagem, para a leitura das medidas, podem ser utilizados nível geométrico e nível d'água.

2.2.1 Nível geométrico

Segundo a NBR 13133 (ABNT, 1994), o nivelamento geométrico ou direto é realizado através de um nível – nível óptico, estação total, teodolito – que faz leituras horizontais em pontos pré-fixados, através de miras colocadas verticalmente em tais pontos, que fornecem a diferença de nível entre os pontos.

2.2.2 Nível d'água

O sistema de medição por nível d'água, utiliza como teoria o princípio dos vasos comunicantes, os quais são constituídos por um tubo que contém um líquido, na grande maioria utiliza-se a água, e por um sistema de medição entre o nível do líquido e o marco de referência fixo, Figura 9 (BARROS, 2005).

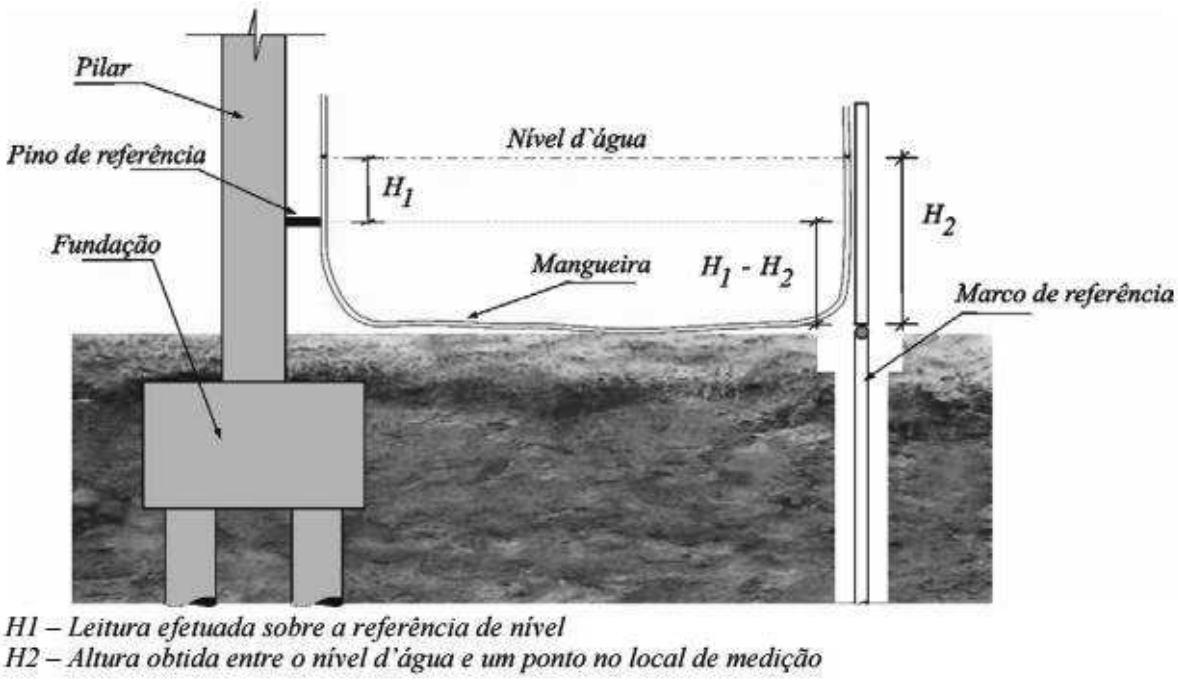

Figura 9 - Sistema de medição de recalques com nível de mangueira. (BARROS, 2005).

O funcionamento desse sistema hidráulico de medição é baseado na Lei de Stevin sobre vasos comunicantes. Segundo esse princípio, o nível de água em diferentes reservatórios que se interligam permanece o mesmo em relação a horizontal, estando este a mesma temperatura e nas mesmas condições de pressão atmosférica. Com diferença da altura da coluna d'água do ponto de referência de nível fixo e do ponto analisado, pode-se determinar a diferença de altura entre os pontos analisados.

Dentre os medidores através de nível d'água, um dos mais utilizados é o nível de mangueira, também conhecido como Medidor de Nível D'água de Terzaghi. Sua construção é feita através de um tubo preenchido com água, normalmente esse tubo tem 10mm de diâmetro interno, conectado a duas buretas. Tais buretas são montadas sobre um par de pinos e as hastes dos micrômetros são abertas até encostar a superfície da água. A diferença de leitura de cada micrômetro, nos dá a leitura vertical entre pinos. Para a leitura do deslocamento total é utilizado o marco de referência para fixação de um dos extremos da mangueira.

Através de uma referência de nível indeslocável, montada tal como a Figura 2.8, e dos pontos localizados na estrutura faz-se as medições. Esse método é versátil devido ao nível ser removido dos pontos de apoio, garantindo versatilidade ao equipamento. Porém, devido a leitura ser feita internamente ao tubo e fazer com que o micrômetro encoste na água, torna as leituras mais difíceis, gerando perda de precisão (BARROS, 2005).

2.3 Estudos sobre o assunto

Savaris (2008) estudou a interação entre o comportamento da estrutura e os deslocamentos da fundação, a fim de verificar qual era a influência na redistribuição dos carregamentos entre os pilares.

Para a análise dos deslocamentos da fundação foi feito monitoramento dos recalques de um edifício desde o início da construção. Tal acompanhamento utilizou um equipamento baseado no princípio dos vasos comunicantes juntamente com a captura de imagens que forneciam as leituras dos dados.

Como conclusão do uso de tal aparato para a leitura dos recalques, obteve-se resultados satisfatórios, conseguindo assim monitorar e avaliar o comportamento

das fundações desde o início da construção até as etapas de acabamento final da estrutura.

Ainda, como sugestão de trabalho, foi proposto a continuação do estudo e melhoria do aparato de medição de recalques, pois o mesmo traria aumento da precisão de dados e otimização de instalação, tornando-se cada vez mais uma opção viável para a utilização em obra.

Dai e Lu (2010), fizeram análise de recalques por fotogrametria, procurando analisar qual a viabilidade de aplicação da técnica para o monitoramento de recalques.

Segundo ASP – *American Society of Photogrammetry* (1966), citado por Temba (2000), a fotogrametria é: “a arte, ciência e tecnologia de obter informações de confiança sobre objetos e do meio ambiente com o uso de processos de registros, medições e interpretações das imagens fotográficas”

Para o estudo foram feitas imagens de duas perspectivas diferentes mas que cobriam o mesmo conteúdo, e a partir delas, calculou-se as informações. Para análise dos dados, utilizaram o programa PhotoModeler ® (Eos System Inc. 2007).

Os resultados obtidos por Dai e Lu foram que apesar do equipamento ter um custo menor e uma efetividade operacional maior, ainda deve ser estudado maneiras de diminuir os erros de leitura dado pelo equipamento. Uma das maneiras por eles propostas para uma próxima pesquisa, é a utilização de câmeras de resoluções altas na qual a calibração da lente melhora a precisão dos dados capturados.

Também apontaram as vantagens do método em relação ao uso de níveis ópticos, entre eles está a vantagem de se ter as leituras gravadas por fotografias; a medição é alcançada diretamente das imagens, não há necessidade de avaliação e resultados na obra; é um modelo econômico, portátil, e que reduz o número de pessoas em campo para obtenção dos objetos de análise.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho desenvolvido foi do tipo experimental com a montagem de equipamento e aplicação de metodologias em laboratório. Buscou-se melhorias na leitura de recalques dada pelo equipamento, que apresenta dificuldade de leitura de dados devido à existência de menisco.

3.1 Aparato de medição

O aparato de medição de recalques utilizado neste trabalho, consiste em uma tubulação preenchida com líquido, tendo nas extremidades um tubo de vidro, inserido em uma caixa e que utiliza o princípio dos vasos comunicantes em seu funcionamento. Este equipamento foi montado no Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Toledo, conforme Figura 10.

Para sua construção foi utilizado uma caixa de condução – condulete com rosca – fabricada em liga de alumínio, com cantos arredondados, na qual foi fixada no interior uma placa de alumínio de dimensões 40mmx50mmx10mm. Sobre a placa de alumínio, colocou-se um tubo de 12mm de diâmetro, conectado a uma mangueira flexível de 7/16 polegadas de diâmetro. Essa mangueira foi preenchida com água, e que, através do princípio dos vasos comunicantes, forneceu diferenças de níveis para as leituras. O uso da placa visou auxiliar a leitura dos dados.

Após a montagem e fixação, foram analisados os seguintes parâmetros:

- Influência das colorações na água e na placa de alumínio;
- Captura de imagens e análise computacional das mesmas;
- Aplicação de pressão no tubo;
- Comparação do deslocamento do prato da prensa de compressão simples com a leitura de dados do aparato.

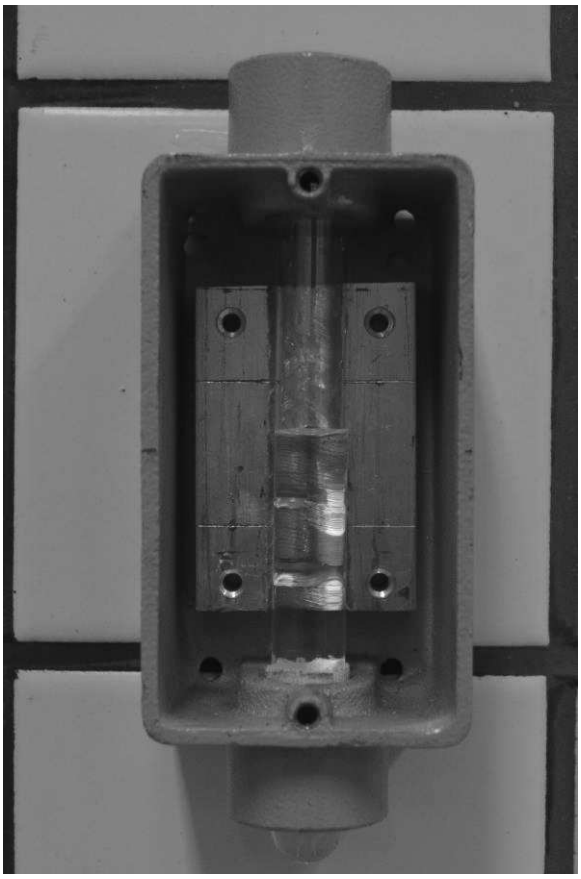

Figura 10 - Equipamento de medição de recalques

3.2 Montagem e fixação do aparato

Após a construção do equipamento, o mesmo foi fixado na parede no Laboratório de Solos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Toledo, com o uso de cola Epóxi. Ainda, para que o mesmo não ficasse desnivelado, durante a fixação utilizou-se de um nível de bolha.

3.3 Fluxograma de atividades programadas

Na Figura 11 tem-se o fluxograma com a programação das atividades seguidas para o desenvolvimento dos estudos do trabalho.

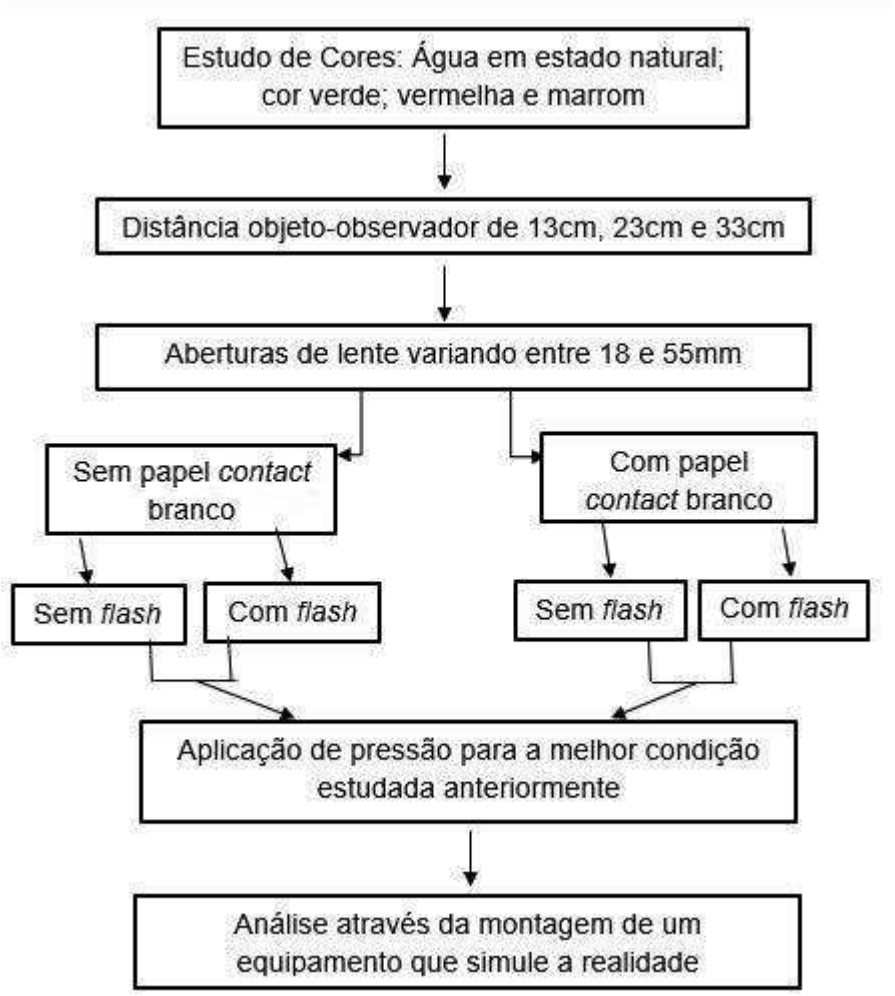

Figura 11 - Atividades programadas

3.4 Estudo de cores na água e coloração da placa de alumínio

Posteriormente a montagem, visando melhorar a leitura do menisco, foi realizado o estudo de cores na água com a placa de alumínio inalterada e depois com a colocação de papel *contact* branco na placa.

Primeiramente o estudo se deu com a água em seu estado natural, e após, utilizou corante nas cores verde, vermelho e marrom, a placa de alumínio não teve o adesivo branco no primeiro momento. Os registros das imagens foram feitos com uso e sem o uso do *flash*, e para variações de distância objeto-observador e aberturas de lente.

Após a realização do registro fotográfico para esse primeiro caso, repetiu-se o estudo para a água em estado natural e com os corantes, com as mesmas condições

para o *flash* e as distâncias, porém, nesse segundo momento a placa de alumínio foi colocado o fundo branco, gerando novas imagens.

3.5 Captura de imagens

Para a captura de imagens utilizou a máquina fotográfica Nikon, modelo D3200 18-55 VR Kit, apoiada sobre um tripé que permaneceu sempre com a mesma altura, centralizado com o aparato. Para isso, um nível de bolha foi utilizado, de forma a manter o tripé com 90° em relação ao chão.

A cada variante de estudo foram feitas fotografias, das quais alterou-se as distâncias do objeto-observador, iguais a 13, 23 e 33cm. Também, para melhorar a calibragem da imagem capturada, utilizou lente focal variando entre 18mm e 55mm. Ainda, a cada variante de distância e calibragem focal, fotografias foram feitas com a utilização do *flash* e sem o uso do mesmo.

Para cada variação de distância foram feitas capturas de imagens com variações da calibragem e do uso de *flash* ou não.

3.6 Aplicação de pressão

Um dos pontos negativos do aparato é a dificuldade de leitura devido a existência de menisco. Para tentar resolver ou reduzir tal efeito, foi feito o estudo e aplicação de pressões negativas nos valores de 100mmHg, 200mmHg, 300mmHg, 400mmHg, 500mmHg, 600mmHg, (no sistema internacional: 13,3Kpa; 26,7KPa; 40KPa; 53,3KPa e 66,7KPa) através de bomba de aplicação de pressões. Será também necessário, extremo cuidado com a vedação, para que o uso da pressão seja bem sucedido.

Para cada variação de pressão, aplicou-se os mesmos métodos de fotografia já descritos no item 3.4, excluindo apenas as condições desfavoráveis já eliminadas com o estudo de cores.

Foram feitas fotografias para a distância de 23cm objeto-observador, para as cores verde e vermelha, que apresentaram melhores resultados anteriormente, abertura de lente de 55mm. Utilizou-se o *flash* e também o papel *contact* branco.

3.7 Comparação do deslocamento do prato da prensa de compressão simples com a leitura do aparato.

Para controlar o valor de deslocamento real a fim de comparar com a leitura do aparato, foi construída uma nova caixa, sendo esta fixada sobre a prensa de compressão simples (Figura 12).

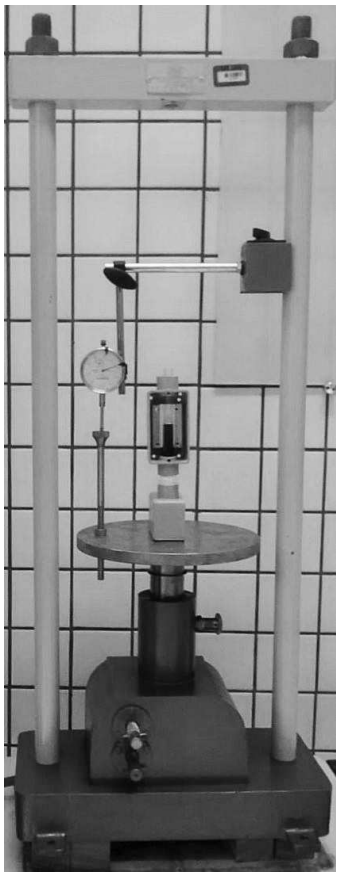

Figura 12 - Prensa de compressão simples
Fonte: Autoria Própria

Foram efetuados deslocamentos no prato da prensa, que eram controlados com um extensômetro (Figura 13). Após a alteração de altura, esperava-se alguns minutos para que o líquido se estabilizasse e fazia-se a captura de imagens do aparato.

Através da leitura do extensômetro sabe-se onde deveria ser a leitura correta do equipamento, ou seja, qual a localização do menisco que deixa as leituras mais precisas, podendo assim, trabalhar de forma a padronizar a interpretação dos dados.

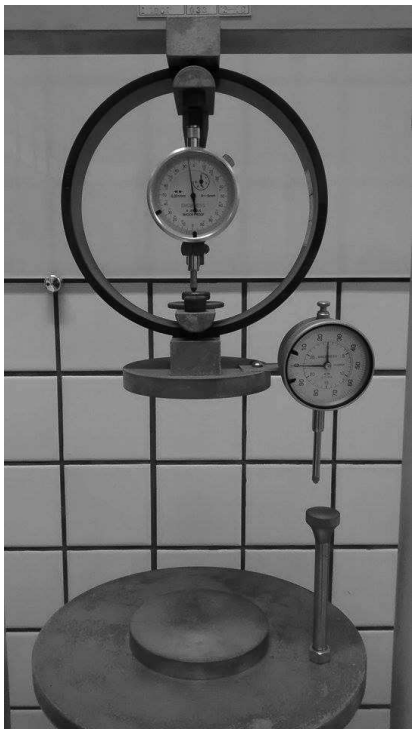

Figura 13 - Extensômetro comparador
Fonte: Autoria Própria

3.8 Análise de dados

A análise das imagens capturadas foi feita utilizando o programa computacional Corel Draw X7 ®. O computador utilizado para análise das imagens é um Intel core i5, com 6GB de memória e 750GB de HD.

Primeiro passo a se fazer com a imagem no programa, é acertar a escala da mesma para que seja real. Para isso, na placa de alumínio são marcados dois pontos, dos quais retira-se a diferença entre as duas marcações (Figura 14) através da utilização de um paquímetro para obter a medida o mais exato o possível.

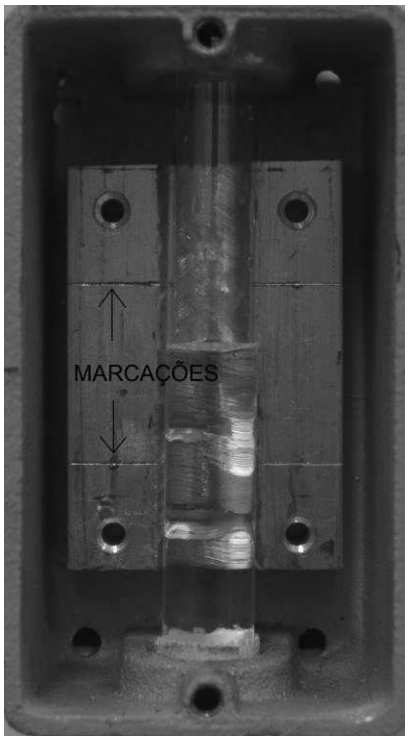

Figura 14 - Marcações na placa de alumínio

Já no Corel Draw ®, avaliando a imagem, desenham-se linhas retas nos locais referentes as marcas que foram feitas essas medidas (Figura 15). O programa fornece a posição de cada linha, e subtraindo estas distâncias, obtêm-se a diferença entre ambas. Com esse valor, aplica-se na Equação (16) que fornece a porcentagem de redução a ser aplicada a imagem para a mesma ter medidas reais no programa de análise. Novamente ajusta-se as linhas nas marcações da placa de alumínio, faz-se a diferença de posição das duas e ela deve ser igual a diferença encontrada pela medida tirada do equipamento real através de paquímetro.

$$\text{Porcentagem } (\%) = \frac{\text{Diferença real}}{\text{Diferença obtida pelo Corel Draw}} * 100 \qquad (16)$$

Com a imagem ajustada, pode-se então fazer a análise do menisco, criando uma linha reta exatamente na base desse menisco e através da posição da linha inferior e da linha posicionada sobre o menisco, encontrar a altura de água no ponto em que foi feito a foto.

Tendo um ponto de referência fixo e sempre com a mesma altura, pode-se saber qual foi a variação de nível d'água do ponto analisado em relação ao ponto fixo.

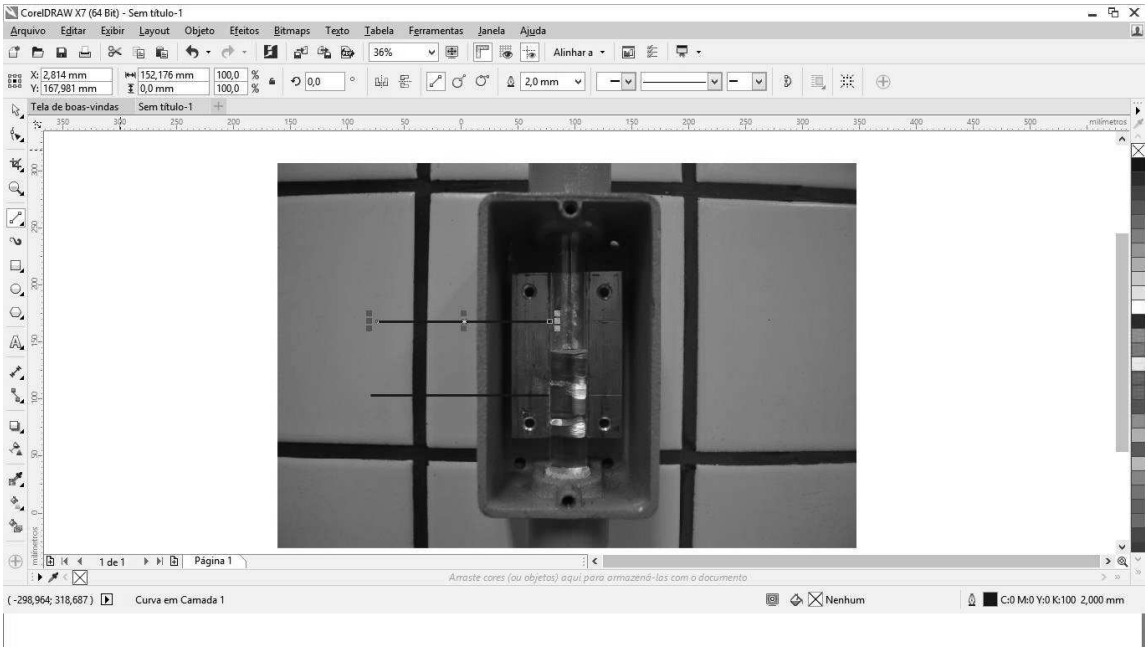

Figura 15 - Análise de dados no Corel Draw

4 RESULTADOS

Os estudos foram realizados em laboratório e serão expostos a seguir quanto aos resultados obtidos e as decisões tomadas conforme seguiam-se os ensaios.

4.1 Estudo de cores do líquido, fundo da imagem e *flash*

O primeiro estudo realizado refere se à coloração da água de maneira a tornar melhor a visualização do menisco, sua forma e tamanho, para que as leituras sejam mais apuradas. Iniciou-se o experimento com o uso de água em estado natural, sem aplicação de papel *contact* de cor branca. Pode-se notar uma dificuldade em visualizar com clareza a posição que se encontra o menisco, tanto nas fotografias sem o uso de *flash* e mesmo com sua utilização (Figura 16 e Figura 17). Portanto, o primeiro resultado observado foi que a água pura, sem adição de corantes, torna a leitura extremamente duvidosa.

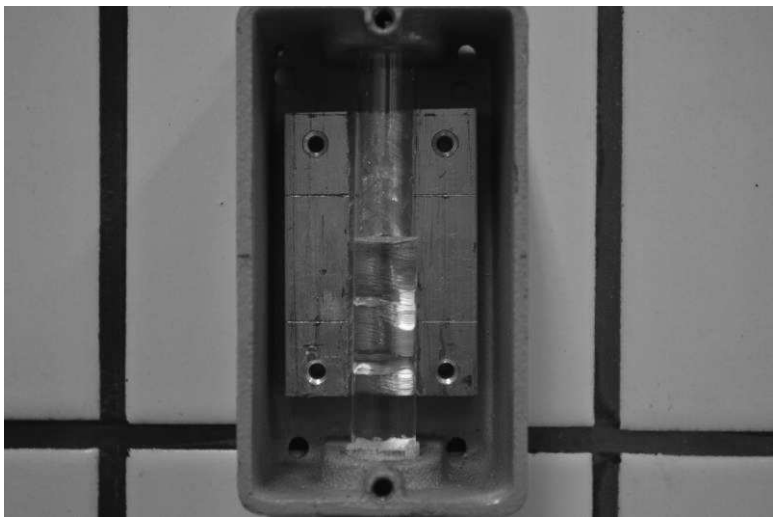

Figura 16 - Imagem com água em estado natural, sem fundo e sem *flash*

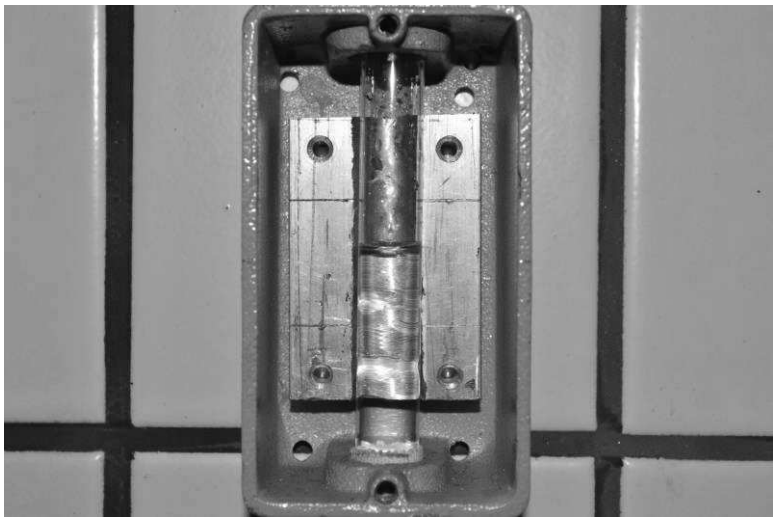

Figura 17 - Imagem com água no estado natural, sem fundo e com *flash*

Após a avaliação do resultado negativo da água no estado natural, procedeu-se a adição de corante, no caso em estudo utilizou-se as cores verde, vermelha e marrom. Para cada uma das cores foram realizadas fotografias com e sem o uso do *flash*, sem o uso do fundo branco. Desta maneira, foi possível observar que apesar uma melhora na identificação em relação ao uso da água no estado natural, contudo, ainda percebe-se que uma dificuldade desta leitura do menisco. Pode-se analisar a seguir, pelas imagens capturadas, a dificuldade encontrada (Figura 18 a Figura 23).

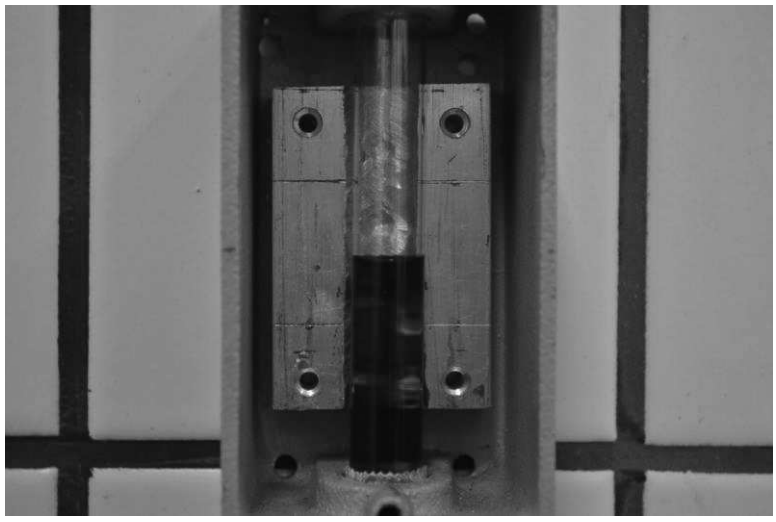

Figura 18 - Coloração vermelha, sem fundo branco, sem *flash*

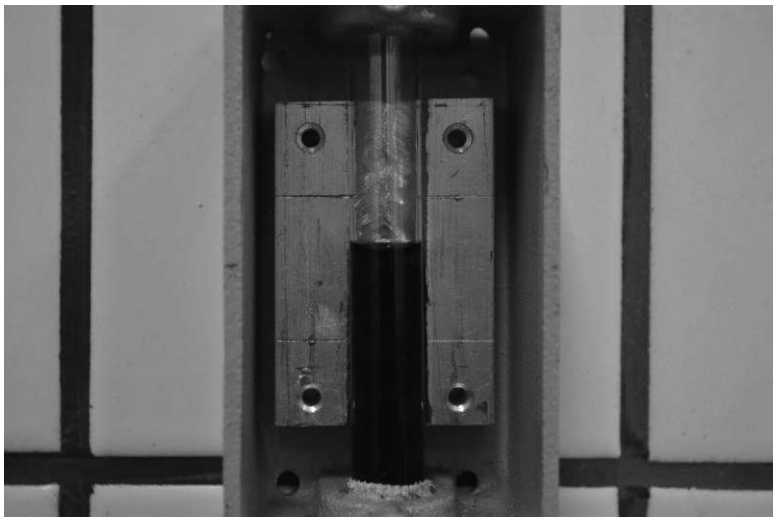

Figura 19 - Coloração verde, sem fundo branco, sem *flash*

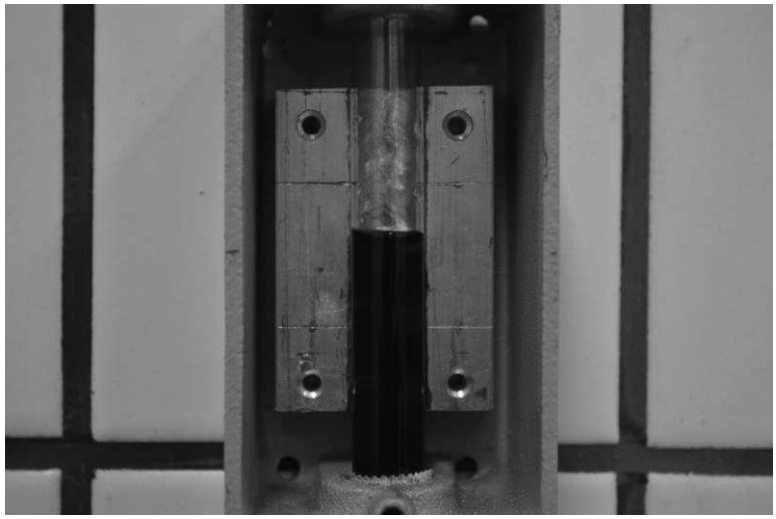

Figura 20 - Coloração marrom, sem fundo branco, sem *flash*

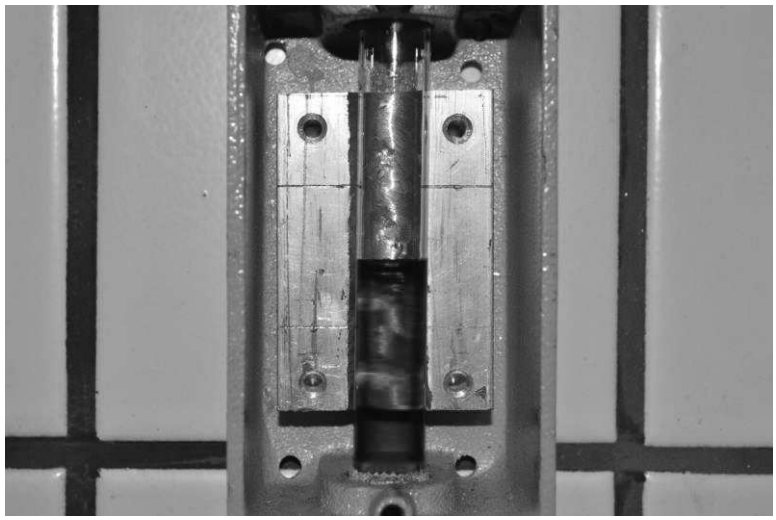

Figura 21 - Coloração vermelha, sem fundo branco, com *flash*

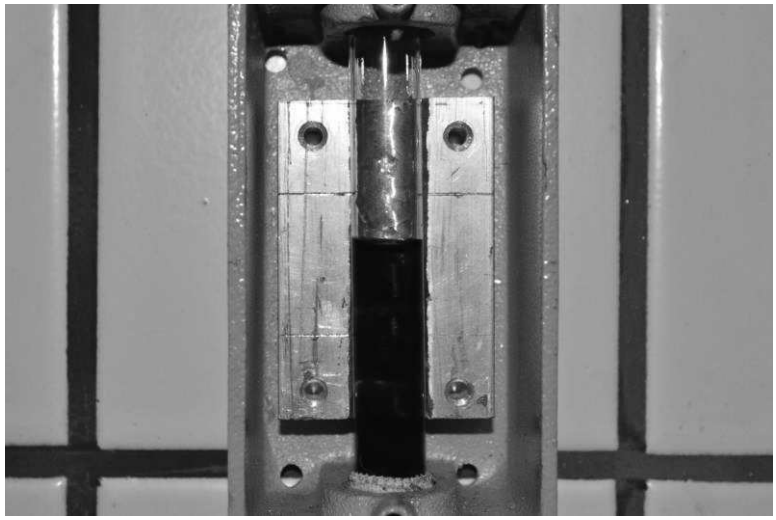

Figura 22 - Coloração verde, sem fundo branco, com *flash*

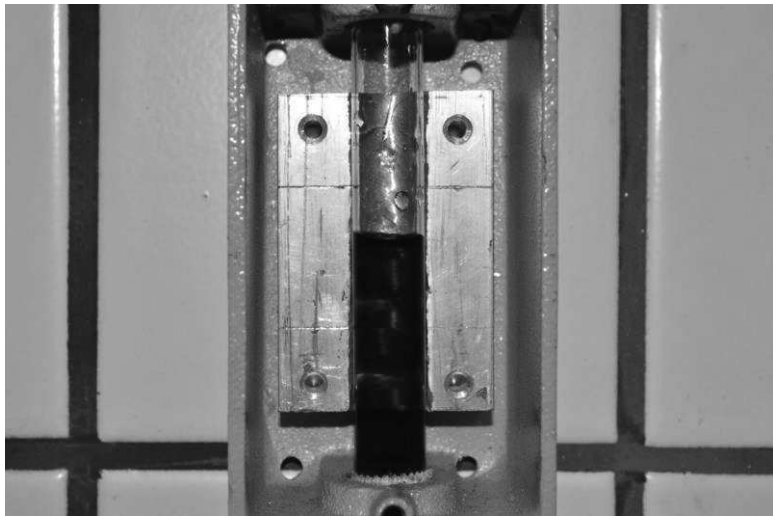

Figura 23 - Coloração marrom, sem fundo branco, com *flash*

O passo seguinte foi realizar a avaliação da qualidade das leituras em função da aplicação de papel *contact* branco como fundo junto à placa de alumínio. Tomou-se o cuidado de utilizar um material fosco, pois o brilhante poderia sofrer influência da luz de flash. Implementado este fundo, foi possível notar que a identificação do menisco tornou-se mais fácil com água sem corante e melhorou quando adicionadas as colorações, mesmo sem utilizar o *flash*, como indica a Figura 24 a Figura 27.

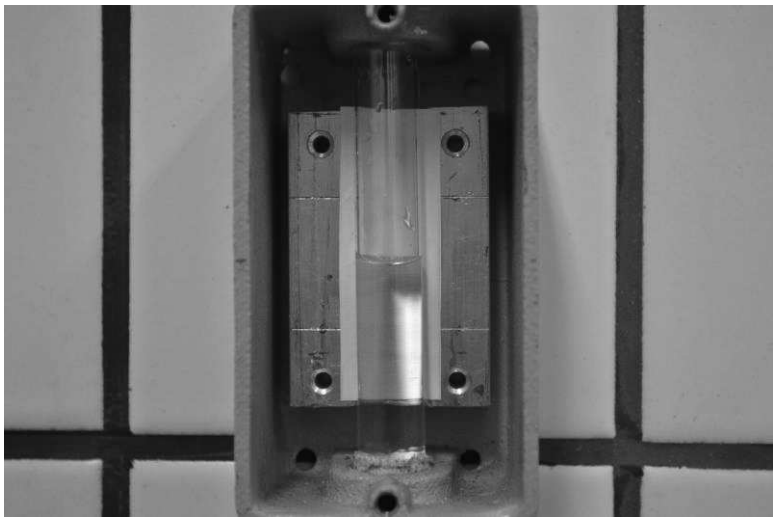

Figura 24 - Sem coloração, com fundo branco, sem *flash*

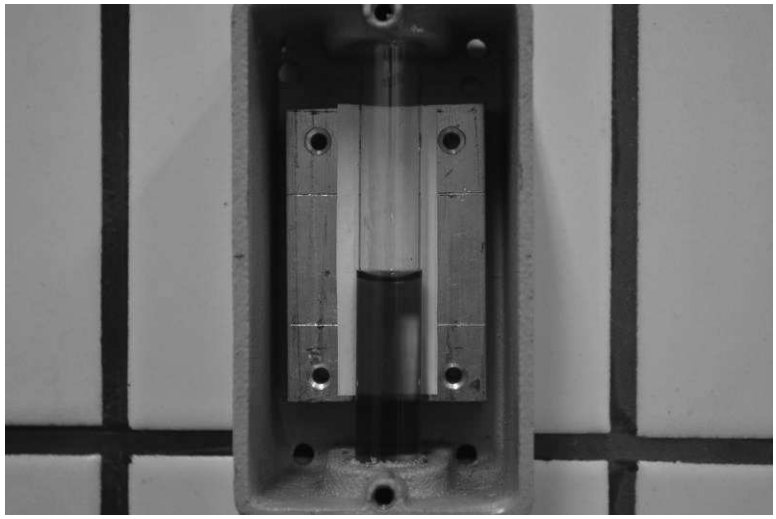

Figura 25 - Coloração vermelha, com fundo branco, sem *flash*

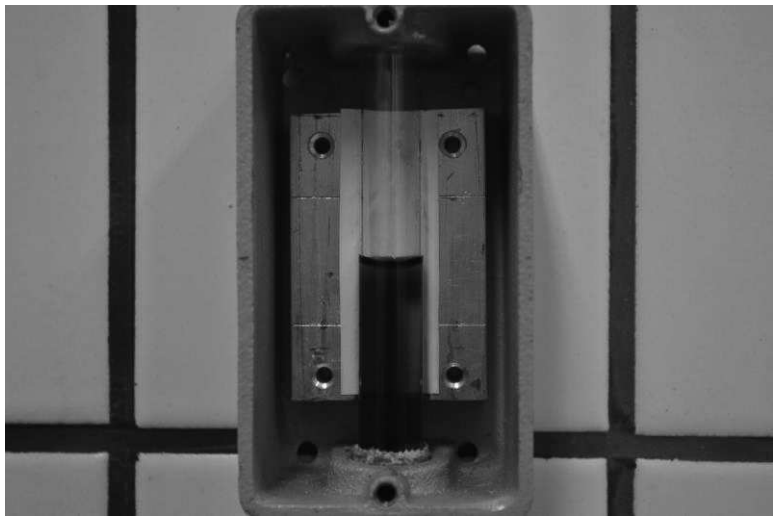

Figura 26 - Coloração verde, com fundo branco, sem *flash*

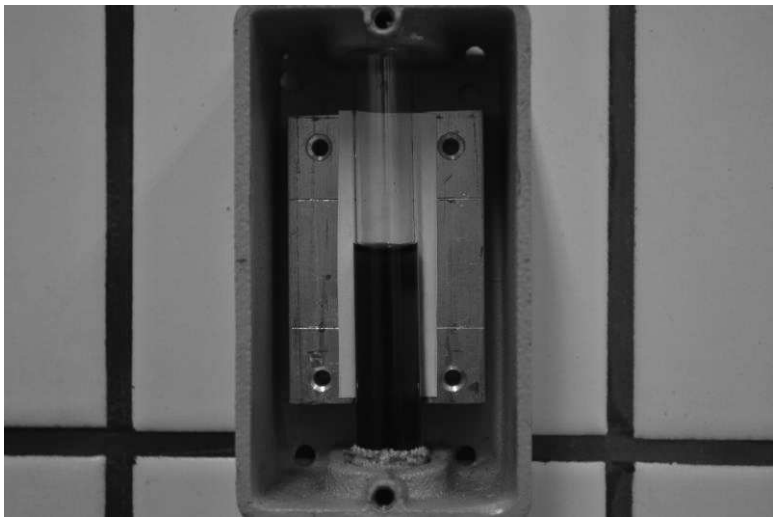

Figura 27 - Coloração marrom, com fundo branco, sem *flash*

Os resultados obtidos com a utilização de fundo branco melhoraram de forma significativa as imagens para leituras. Procedeu-se então a utilização da mesma situação anterior, porém com o uso do *flash*. Conforme apresentado nas imagens capturadas da Figura 28 a Figura 31, quando da utilização do *flash* houve uma nítida melhora na identificação do menisco. Destaca-se também que a utilização das colorações verde e vermelha se mostraram bastante favoráveis a melhores visualizações do menisco.

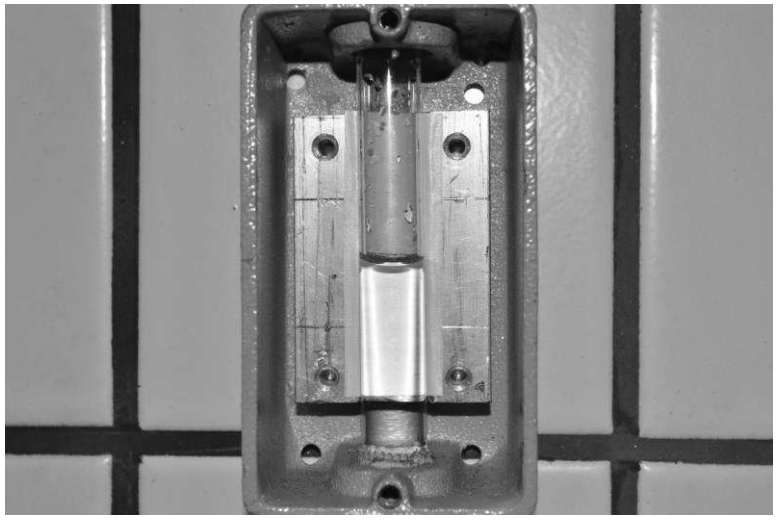

Figura 28 - Sem coloração, com fundo branco, com *flash*

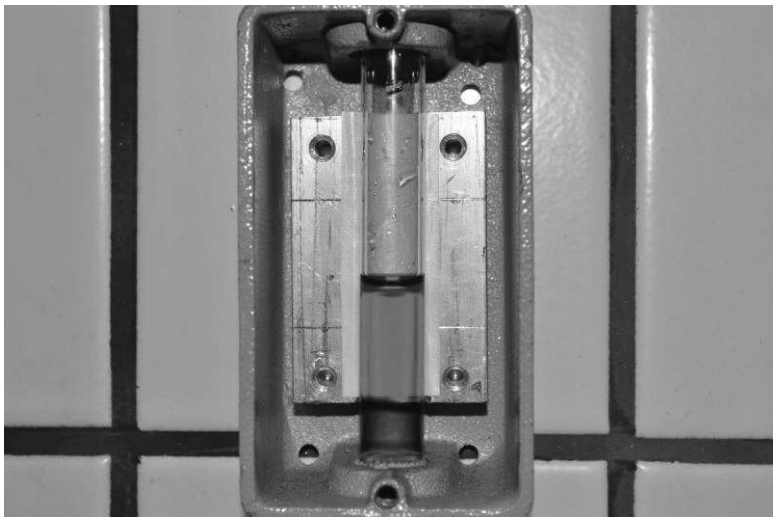

Figura 29 - Coloração vermelha, com fundo branco, com *flash*

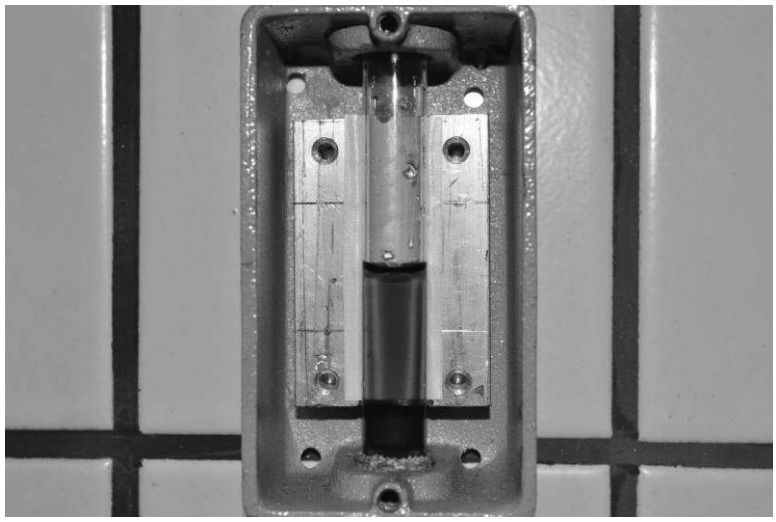

Figura 30 - Coloração verde, com fundo branco, com *flash*

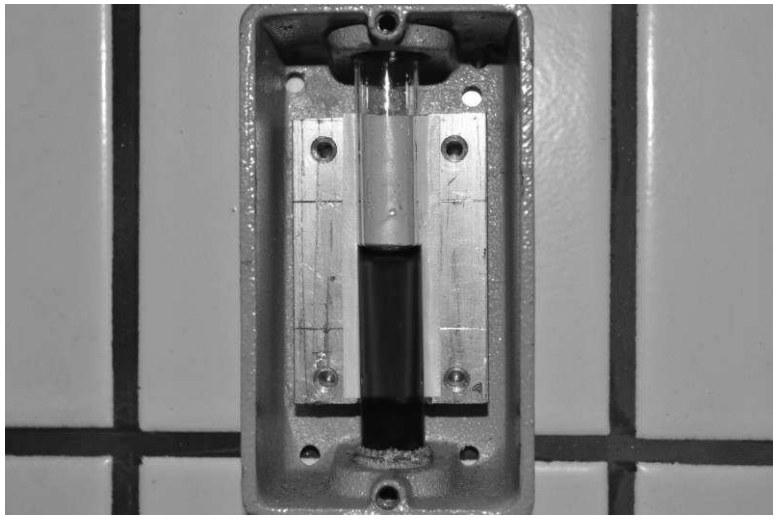

Figura 31 - Coloração marrom, com fundo, com *flash*

4.2 Distância da câmera e da lente

Com o intuito de avaliar a capacidade de aprimorar as leituras, as imagens foram capturadas para 3 diferentes posições, de 13, 23 e 33cm e com 5 aberturas diferentes de lente (variando entre 18 e 55mm), conforme exposto no item 3.5.

Ao realizar o ensaio de cores, pode-se concluir que a distância de 33cm objeto-observador não se localizava próxima o suficiente para análise das imagens. Já a distância de 13cm potencialmente a melhor, não se mostrou com qualidade suficiente. Houve problemas com o foco da câmera, que tornaram difícil a identificação do menisco em certos momentos, tal como indica a Figura 32. Portanto, no quesito distância objeto-observador, a melhor opção, para a câmera utilizada, foi a utilização de 23cm.

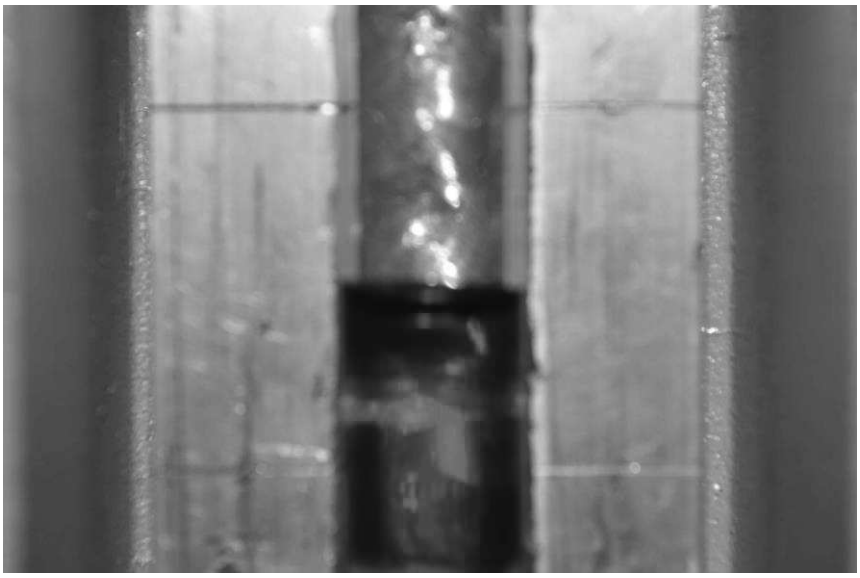

Figura 32 - Dificuldade do foco – distância de 13cm com lente 55mm

No que diz respeito às aberturas de lente, com a distância de 23cm objeto-observador, o melhor resultado obtido foi para 55mm. Para esta abertura, houve uma boa aproximação da caixa, não ocorreram dificuldades com o foco e as marcações foram adequadamente visualizadas.

Ainda, as melhores colorações para essa situação foram a vermelha e verde, devido a isso, as fotografias para aplicação de pressão foram registradas apenas para essas duas cores, com a utilização do *flash* e do papel *contact*. Também foi estudado apenas a condição de 23cm objeto-observador e 55mm de abertura de lente.

4.3 Aplicação de pressão

Destaca-se aqui que conforme os resultados foram obtidos, eliminaram-se as piores situações de maneira que a avaliação da influência das pressões ocorresse para os casos mais satisfatórios de cores, distâncias, aberturas de lente e fundo. Portanto, para as capturas de imagens para aplicação de pressão foi decidido conforme avaliação do estudo das cores, de que como as sem fundo branco geraram fotos de qualidade inferior para identificação do menisco, foi-se descartado a análise delas para aplicação de pressão.

Já as com o plano de fundo em papel *contact* branco, estudando as melhores formas de visualização, optou-se a aplicação de pressão nas cores verde e vermelha, devido as mesmas terem tido destaque no estudo anterior, uso de distância de 23cm, com pressões de -100mmHg, -200mmHg, -300mmHg, -400mmHg, -500mmHg, -600mmHg. Utilizou-se o *flash.*

Como resultado para o experimento com pressões não houve alterações no menisco, de forma que a sua utilização não traria vantagens ao equipamento. Pode-se comprovar este fato através das imagens a seguir: (Figura 33 a Figura 38).

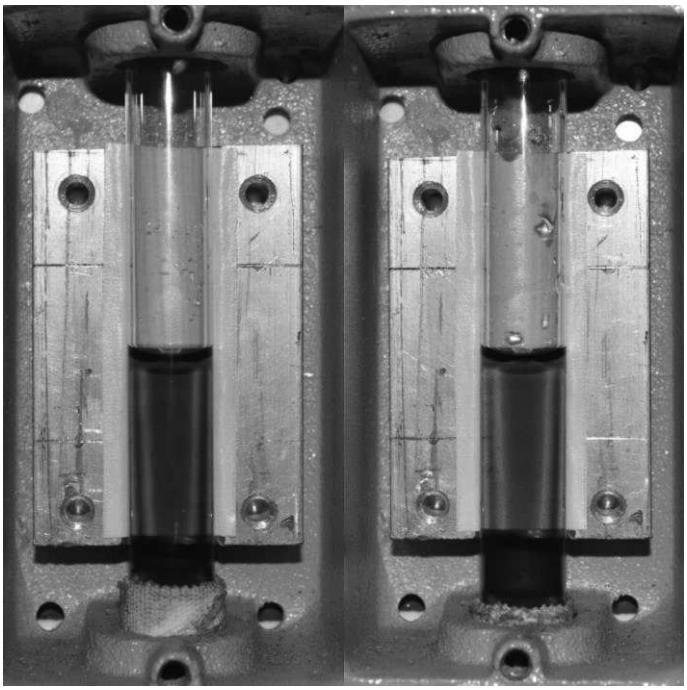

Figura 33 -Aplicação de -100mmHg a esquerda. Imagem sem aplicação de pressão a direita. Imagens feitas com *flash*.

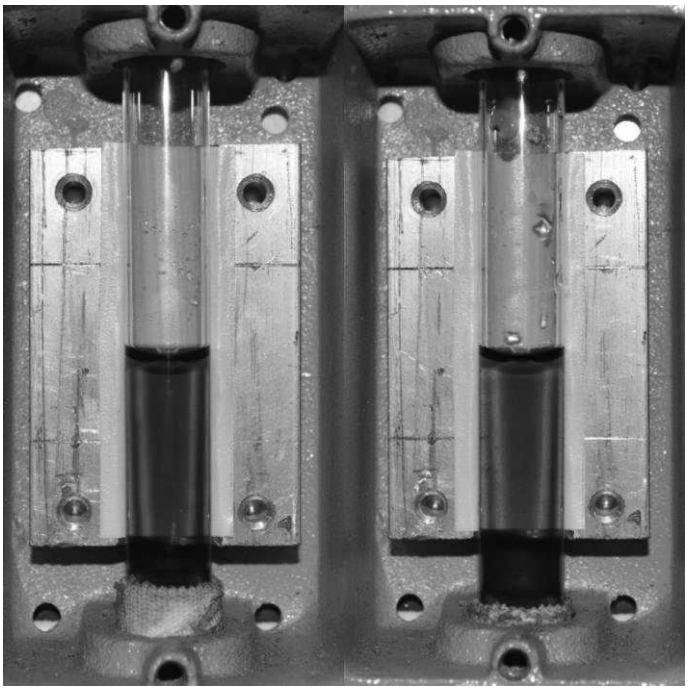

Figura 34 - Aplicação de -200mmHg a esquerda. Imagem sem aplicação de pressão a direita. Imagens feitas com *flash*

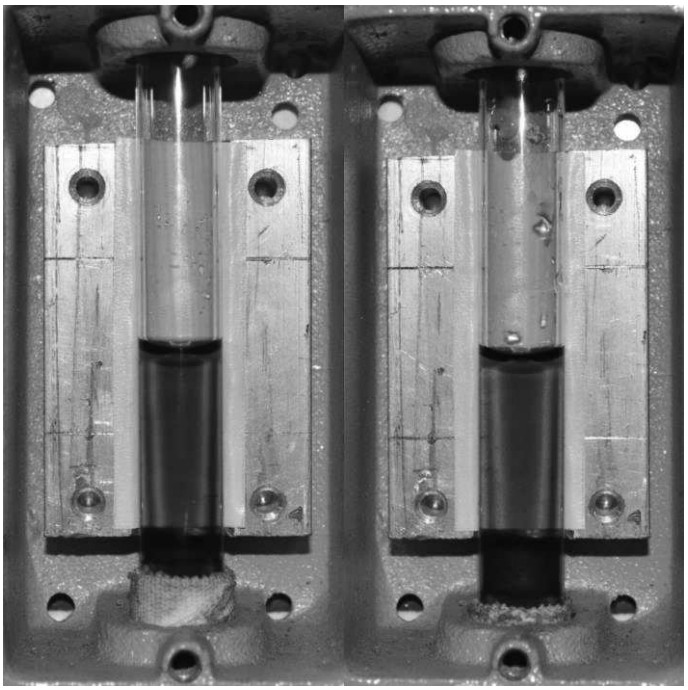

Figura 35 - Aplicação de -300mmHg a esquerda. Imagem sem aplicação de pressão a direita. Imagens feitas com *flash*

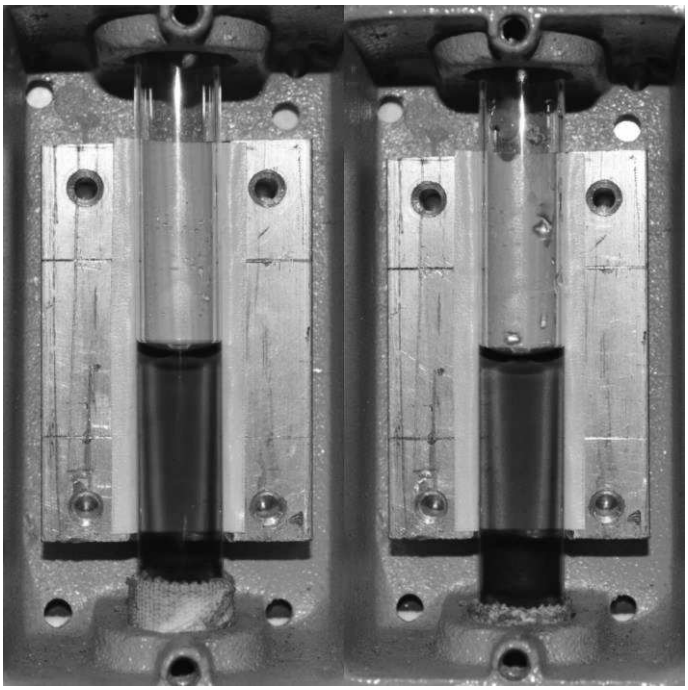

Figura 36 - Aplicação de -400mmHg a esquerda. Imagem sem aplicação de pressão a direita. Imagens feitas com *flash*

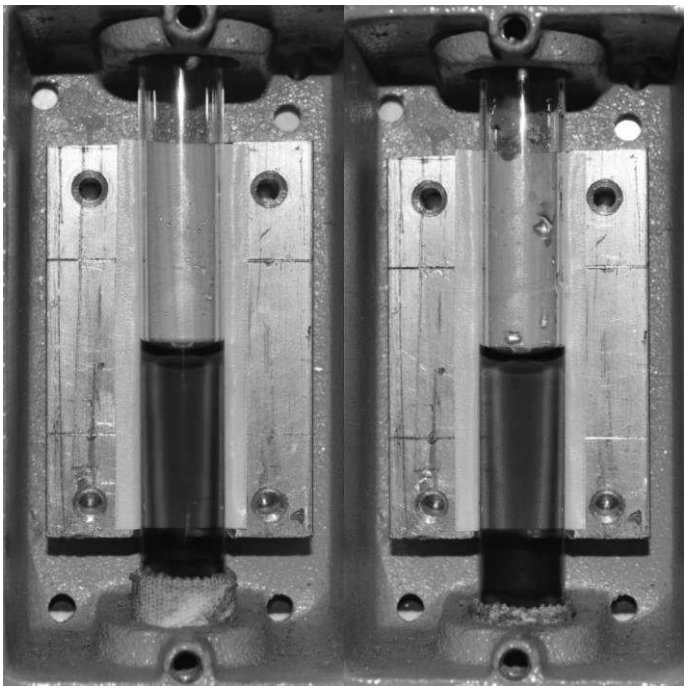

Figura 37 - Aplicação de -500mmHg a esquerda. Imagem sem aplicação de pressão a direita. Imagens feitas com *flash*

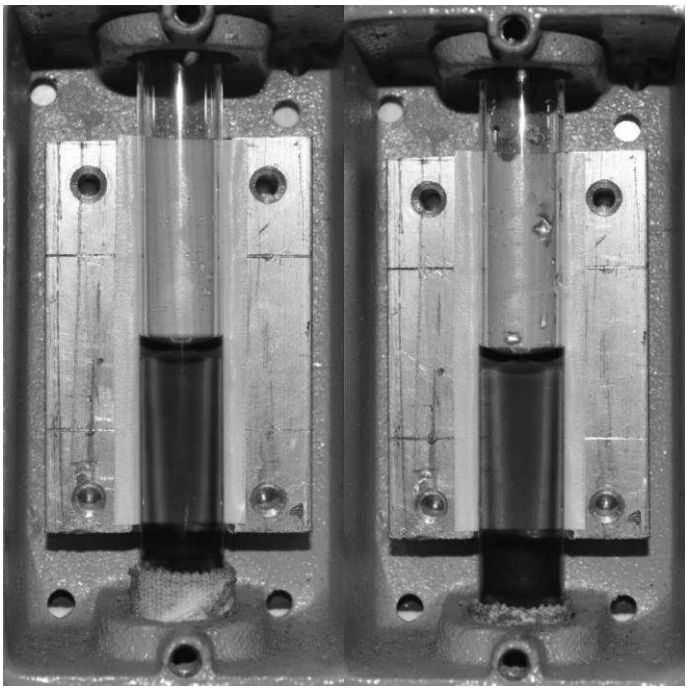

Figura 38 - Aplicação de -600mmHg a esquerda. Imagem sem aplicação de pressão a direita. Imagens feitas com *flash*

4.4 Análise dos deslocamentos lidos pelo equipamento com os deslocamentos reais

Para essa etapa fez-se a montagem de um equipamento de medição de recalques com uma das caixas sendo o ponto de referência fixo e a outra trabalhando como a referência móvel. O sistema foi idealizado de maneira que reproduzisse a atuação real do equipamento em obra, tal como ilustrado na Figura 39. Nessa fase da pesquisa utilizou-se apenas a cor verde, pois devido ao que pôde ser observado nos resultados anteriormente expostos, as cores vermelha e verde não apresentariam grandes diferenças na identificação do menisco. Para esta análise, a distância objeto-observador adotada foi de 23cm, na placa de fundo foi aplicado papel *contact* branco, no que diz respeito à máquina fotográfica, abertura de lente de 55mm e utilizou-se o *flash* e não houve pressão aplicada.

Figura 39 - Aparelho montado para simular monitoramento por aparato real

Primeiramente necessitou-se fazer as capturas de imagem do aparelho montado que simulava a realidade em obra, para que depois pudessem ser utilizadas para as análises através do programa computacional. Com as imagens no computador, lançou-se no Corel Draw ®, e com o auxílio de uma planilha eletrônica do Excel (Tabela 3), realizaram-se os cálculos do recalque obtido pela leitura do equipamento em estudo comparado com o deslocamento real. (Os cálculos realizados estão em Anexo A).

Tabela 3 - Modelo da planilha auxiliar para o cálculo dos recalques

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Leitura (mm)	**Posição da linha**		**Porcentagem de redução (%)**	**Nova posição da linha**		**Diferença**	**Posição do menisco**	**Altura do menisco**
	Em cima	**Em baixo**		**em cima**	**em baixo**			
0	194,459	69,862	19,66	157,553	133,053	24,5	142,82	9,767
1	198,293	76,076	20,05	158,509	134,009	24,5	143,356	9,347

Onde:

Coluna 1: Deslocamento real dado pelo extensômetro (em milímetros)

Coluna 2 e 3: Posições das linhas no programa Corel Draw, a linha abaixo e acima do equipamento

Coluna 4: Porcentagem de redução que deve ser aplicada a imagem no programa para que ela fique com o tamanho real.

Coluna 5 e 6: Após a aplicação da redução no tamanho da foto, as linhas devem ser reposicionadas e novamente retirada as suas posições, acima e abaixo.

Coluna 7: Diferença entre as duas posições. Para o referencial móvel essa diferença deve ser igual a 24,5mm e para o fixo de 29,5mm

Coluna 8: Posição do menisco na imagem

Coluna 9: Altura do menisco

Foram feitas análises para rebaixamento e levantamento das caixas. Já para a leitura do menisco estudou-se a possibilidade de ler o menisco no centro (linha dois pontos e traço) e em baixo dele (linha tracejada), tal como indica a Figura 40, para analisar qual a melhor maneira de se conseguir mais precisão nas leituras obtidas.

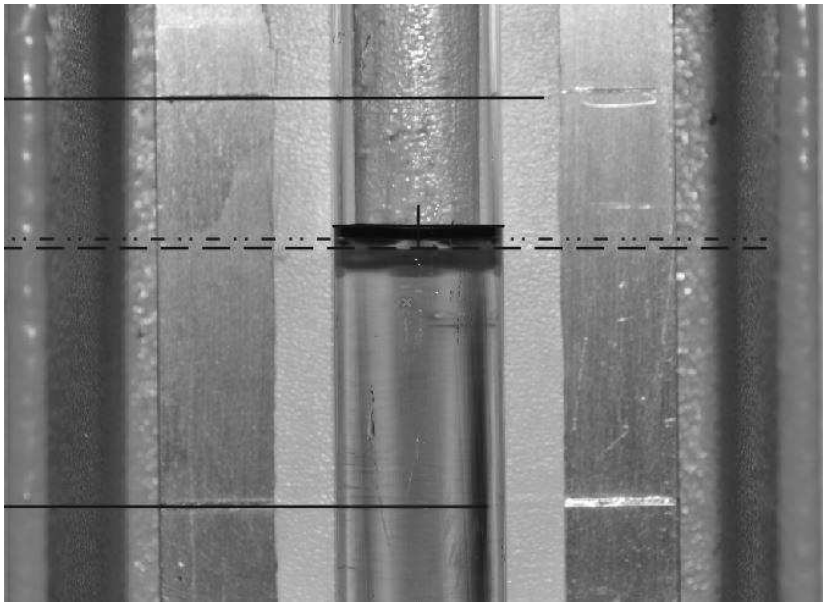

Figura 40 - Pontos de retirada da altura do menisco

Com a altura do menisco definida, faz-se a diferença entre as leituras de altura do menisco da caixa fixa com a móvel, tendo então a leitura para cada posição. Com

essas leituras, faz-se as diferenças entre elas, e obtém-se então, as leituras obtidas pelo equipamento em estudo.

Exemplo de cálculo:

Leitura 0 e 1 – altura do menisco para caixa fixa – 18,666 e 19,172 respectivamente.

Leitura 0 e 1 – altura do menisco para caixa móvel – 9,767 e 9,347 respectivamente.

Com esses dados, faz-se a diferença entre as leituras de altura do menisco entre a caixa móvel e a fixa, ficando assim:

$$\text{Leitura } 0\text{: } 18{,}666 - 9{,}767 = 8{,}899$$
$$\text{Leitura } 1\text{: } 19{,}172 - 9{,}347 = 9{,}825$$

Através desses dados faz-se a diferença entre os dois resultados obtendo-se então a leitura do equipamento que será comparada com a leitura real:

$$\text{Leitura do equipamento} = 9{,}825 - 8{,}899 = 0{,}926$$

Os resultados obtidos estão descritos nas tabelas abaixo:

Tabela 4 - Leitura obtida para o levantamento retirada do ponto mais baixo do menisco

Leitura Real (mm)	Leitura Equipamento (mm)	Diferença (mm)	Erro (%)
0	0	0	0
1	0,963	0,037	3,70
2	1,847	0,153	7,65
3	2,878	0,122	4,07
4	3,886	0,114	2,85
5	4,910	0,090	1,80

Tabela 5 - Leitura obtida para o levantamento retirado do ponto central do menisco

Leitura Real (mm)	Leitura Equipamento (mm)	Diferença (mm)	Erro (%)
0	0	0	0
1	0,997	0,003	0,30
2	1,861	0,139	6,95
3	2,933	0,067	2,23
4	3,988	0,012	0,30
5	4,984	0,016	0,32

Tabela 6 - Leitura obtida para o rebaixamento retirado do ponto mais baixo do menisco

Leitura Real (mm)	Leitura Equipamento (mm)	Diferença (mm)	Erro (%)
0	0	0	0
1	0,773	0,227	22,70
2	1,722	0,278	13,90
3	2,623	0,377	12,57
4	3,602	0,398	9,95
5	4,809	0,191	3,82

Tabela 7 - Leitura obtida para o rebaixamento retirada do ponto central do menisco

Leitura Real (mm)	Leitura Equipamento (mm)	Diferença (mm)	Erro (%)
0	0	0	0
1	0,748	0,252	25,20
2	1,749	0,251	12,55
3	2,680	0,320	10,67
4	3,690	0,310	7,75
5	4,891	0,109	2,18

Através dos resultados apresentados anteriormente, nota-se que para a leitura realizada no centro ou abaixo do menisco, os resultados apresentados são semelhantes, não variando muito a porcentagem de erro em ambos os casos.

Também, pode-se perceber que o maior erro obtido foi de 25,20%, para a situação de rebaixamento. Apesar desse valor ser considerado alto, as unidades das medidas estão em milímetros, portanto, as variações são na ordem de décimos de milímetros. Quando comparado a métodos como o nível ótico, o erro obtido pelo equipamento em estudo é bem menor, enquanto no primeiro caso temos erros de 1mm, para o aparato com nível d'água obtiveram-se resultados com variação de 0,4mm.

Um dos possíveis motivos para o erro ter acontecido se dá devido à dificuldade de locar as linhas na imagem para retirada das posições, qualquer mínima variação altera os resultados. Isso ocorre pois quando tem-se a imagem no computador, a linha de marcação real que visualmente é apenas uma linha, quando analisada no programa, ela se transforma em vários pixels, dificultando o alinhamento no local correto.

5 CONCLUSÕES

No aparato em estudo, por diferença de nível d'água, temos a vantagem da melhor abrangência, pois como a medida é feita em cada pilar e não a partir do ponto de referência, pode-se ter um maior número de pilares ligados a um mesmo ponto de referência.

O equipamento também diminui o tempo de coleta de dados em obra, pois são registradas imagens em campo e a análise fica para ser feita posteriormente. Com isso, quando houver a necessidade de leitura em obra, as interferências serão menores e mais rápidas, não atrapalhando o andamento da execução da obra. Os cálculos necessários para obter os resultados são feitos em escritório, em planilhas eletrônicas e com as imagens como registro.

Ainda, por ser feito registro de imagens, elas podem ser consultadas em qualquer momento, já que ficam arquivadas. Isto faz com que a cada obra possua um banco de dados composto por imagens e resultados.

Com os ensaios realizados nesse trabalho pode-se concluir que o uso de cores facilitou a visualização do menisco. Dentre as cores analisadas, a cor marrom não foi satisfatória nas análises quando comparado com as cores verde e vermelha que apresentaram uma melhor visualização. A cor verde foi a escolhida para a continuação do trabalho pois analisando as imagens registradas em ensaios anteriores, se mostrou a mais eficiente. Também ficou evidente que com o uso do fundo branco bem como o uso do *flash*, potencializaram significativamente a visualização do menisco. Por outro lado, conclui-se que a aplicação da pressão não apresentou resultado satisfatório, pelo menos não para o nível de pressão aplicado nem para o aparato em especial desenvolvido.

Com o auxílio do Corel Draw ®, pode-se analisar as leituras dadas pelo equipamento, as quais forneceram erros de 7,65% para a situação de levantamento analisando o ponto mais baixo do menisco e para a situação de análise de levantamento analisando o ponto central do menisco, obteve-se um erro de 6,95%. Já os resultados para análise do rebaixamento, forneceu um erro de 22,70% para análise no ponto mais baixo do menisco e um erro de 25,20% para análise no ponto mais central. Através dos resultados pode-se notar que para cada situação, levantamento ou rebaixamento, os erros foram menores quando avaliado no ponto central e no ponto

mais baixo, respectivamente. Quando se trata de situações de levantamento os resultados obtidos são melhores.

Deve-se ter em mente que as medidas de deslocamentos verticais em estruturas usuais são da faixa de milímetros, logo, apesar de terem sido identificados erros da ordem de 25%, as diferenças foram em décimos de milímetros. Esse erro existe, pois, qualquer mínimo deslocamento da linha relativa ao menisco, em análise no Corel Draw ®, para cima ou para baixo, altera os resultados de maneira significativa. Apesar de se adotar um ponto para encontrar o menisco corretamente, ainda assim ocorreram erros.

Para fins de aperfeiçoamento, o estudo em questão conclui que a utilização da coloração correta (verde ou vermelha), o uso do fundo branco e a utilização do *flash*, auxiliam muito a visualização do menisco, no entanto, este trabalho não esgotou as possibilidades de aperfeiçoamento, portanto, o presente estudo pode sofrer contribuições de outros trabalhos ao analisar outras variáveis a fim de reduzir os erros de leitura.

5.1 Trabalhos futuros

Devido à grande importância quanto ao custo-benefício do aparato em estudo, medindo recalques por nível d'água, é de grande valia que os estudos para aprimoramento do mesmo continuem, para que os níveis de precisão viabilizem cada vez mais a sua aplicação em obra.

Como apresentado nas conclusões, a margem de erro do equipamento ainda é significativa, em termos percentuais, portanto, novos estudos para que se reduzam tais erros são necessários.

Um dos possíveis estudos que há se fazer em relação ao aparato, é fotografar em diferentes ângulos, como visto de cima e de baixo.

Outro possível estudo é a utilização de dois líquidos imiscíveis para que ocorra uma diferenciação no contato dos dois líquidos, como por exemplo, água e óleo, analisar se isso facilitaria a visualização do menisco ou não.

Ainda, poderia ser estudado o aparato com a utilização de uma régua colada a placa de alumínio, assim, quando redimensionado ao tamanho real no programa computacional de análise de imagens, poderia utilizar a leitura 0 para localizar o

menisco e para as próximas leituras, sabendo-se o deslocamento, buscar na régua a medida para traçar a linha relativa ao menisco, podendo assim, criar um padrão para a posição do mesmo.

Também pode se pensar em implementação de programas computacionais capazes de ler as imagens e coloca-las em escalas automaticamente, reduzindo a possibilidade de erros de operadores do Corel Draw ®.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6489**: Prova de carga direta sobre terreno de fundação. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133**: Execução e Levantamento Topográfico. Rio de Janeiro, 1994.

ALONSO, Urbano Rodriguez. **Previsão e controle das fundações.** São Paulo: Edgard Blüncher Ltda, 1991.

BARROS, Rodrigo Alvarez de. **Avaliação do comportamento de fundações em estaca hélice através de medidas de recalques.** 2005. 118p. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, 2005.

CORRÊA, Cícero Pimentel. **Metodologia para controle de recalques em estruturas de concreto armado por meio de nivelamento geométrico de precisão.** 2012. 53p. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2012.

CINTRA, José Carlos A.; AOKI, Nelson. **Fundações por estacas: projeto geotécnico.** São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

DAI, Fei; LU, Ming**. Evaluation of photogrammetry for monitoring settlement of building adjacent to foundation jobsite.** Hong Kong, 2010.

OLIVEIRA, Alexandre Magno de. **Fissuras, trincas e rachaduras causadas por recalque diferencial de fundações.** 2012. 96p. Monografia (Curso de Especialização em Gestão em Avaliações e Perícias). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

REBELLO, Yopanan Conrado Pereira. **Fundações: guia prático de projeto, execução e dimensionamento.** São Paulo: Zigurate Editora, 2008.

SAVARIS, Gustavo. **Monitoração de recalques de um edifício e avaliação da interação solo-estrutura.** 2008. 197p. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, 2008.

TEMBA, Plínio. **Fundamentos da fotogrametria.** Universidade Federal de Minas Gerais, 2000.

THOMAZ, Ercio. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação.** PINI, 2002.

VELLOSO, Dirceu de Alencar; LOPES, Francisco de Rezende. **Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas.** São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

ANEXO A – Tabela de cálculos auxiliares

Tabela A. 1 Tabela de cálculo da caixa móvel, levantamento, leitura do ponto mais baixo do menisco

Leitura	Posição da linha		Porcentagem de redução (%)	Nova posição da linha		Diferença	Posição do menisco	Altura do menisco
	em cima	em baixo		em cima	em baixo			
0	194,459	69,862	19,66	157,553	133,053	24,5	142,872	9,819
1	198,293	76,076	20,05	158,509	134,009	24,5	143,373	9,364
2	205,685	80,448	19,56	159,707	135,207	24,5	144,095	8,888
3	199,932	76,438	19,84	158,705	134,205	24,5	142,588	8,383
4	203,534	78,705	19,63	159,326	134,826	24,5	142,734	7,908
5	207,409	83,01	19,69	160,124	135,624	24,5	143,067	7,443

Tabela A. 2 Tabela de cálculo da caixa fixa, levantamento, leitura do ponto mais baixo do menisco

Leitura	Posição da linha		Porcentagem de redução (%)	Nova posição da linha		Diferença	Posição do menisco	Altura do menisco
	em cima	em baixo		em cima	em baixo			
0	222,635	74,954	19,98	163,261	133,761	29,5	152,441	18,680
1	220,574	73,332	20,04	162,919	133,419	29,5	152,607	19,188
2	210,972	62,672	19,89	160,929	131,429	29,5	151,025	19,596
3	212,188	62,786	19,75	161,064	131,564	29,5	151,686	20,122
4	216,222	67,04	19,77	161,944	132,444	29,5	153,099	20,655
5	216,074	66,959	19,78	161,877	132,377	29,5	153,591	21,214

Tabela A. 3 Tabela de cálculo da caixa móvel, levantamento, leitura do ponto central do menisco

Leitura	Posição da linha		Porcentagem de redução (%)	Nova posição da linha		Diferença	Posição do menisco	Altura do menisco
	em cima	em baixo		em cima	em baixo			
0	194,459	69,862	19,66	157,553	133,053	24,5	143,419	10,366
1	198,293	76,076	20,05	158,509	134,009	24,5	143,938	9,929
2	205,685	80,448	19,56	159,707	135,207	24,5	144,643	9,436
3	199,932	76,438	19,84	158,705	134,205	24,5	143,127	8,922
4	203,534	78,705	19,63	159,326	134,826	24,5	143,266	8,440
5	207,409	83,01	19,69	160,124	135,624	24,5	143,614	7,990

Tabela A. 4 Tabela de cálculo da caixa fixa, levantamento, leitura do ponto central do menisco

Leitura	Posição da linha		Porcentagem de redução (%)	Nova posição da linha		Diferença	Posição do menisco	Altura do menisco
	em cima	em baixo		em cima	em baixo			
0	222,635	74,954	19,98	163,261	133,761	29,5	153,101	19,340
1	220,574	73,332	20,04	162,919	133,419	29,5	153,319	19,900
2	210,972	62,672	19,89	160,929	131,429	29,5	151,700	20,271
3	212,188	62,786	19,75	161,064	131,564	29,5	152,393	20,829
4	216,222	67,04	19,77	161,944	132,444	29,5	153,846	21,402
5	216,074	66,959	19,78	161,877	132,377	29,5	154,325	21,948

Tabela A. 5 Tabela de cálculo da caixa móvel, rebaixamento, leitura do ponto mais baixo do menisco

Leitura	Posição da linha		Porcentagem de redução (%)	Nova posição da linha		Diferença	Posição do menisco	Altura do menisco
	em cima	em baixo		em cima	em baixo			
0	199,651	80,588	20,58	159,057	134,557	24,5	144,510	9,953
1	199,502	77,794	20,13	158,813	134,313	24,5	144,579	10,266
2	203,357	78,827	19,67	159,327	134,827	24,5	145,568	10,741
3	207,679	83,897	19,79	160,228	135,728	24,5	146,939	11,211
4	202,565	78,651	19,77	159,187	134,687	24,5	146,356	11,669
5	206,447	81,298	19,58	159,926	135,426	24,5	147,439	12,013

Tabela A. 6 Tabela de cálculo da caixa fixa, rebaixamento, leitura do ponto mais baixo do menisco

Leitura	Posição da linha		Porcentagem de redução (%)	Nova posição da linha		Diferença	Posição do menisco	Altura do menisco
	em cima	em baixo		em cima	em baixo			
0	218,5	72,978	20,27	162,69	133,19	29,5	151,792	18,602
1	218,132	72,831	20,30	162,69	133,19	29,5	151,332	18,142
2	214	67,112	20,08	161,69	132,19	29,5	149,858	17,668
3	219,53	71,958	19,99	162,69	133,19	29,5	150,427	17,237
4	214,795	67,069	19,97	161,69	132,19	29,5	148,906	16,716
5	213,916	66,19	19,97	161,69	132,19	29,5	148,043	15,853

Tabela A. 7 Tabela de cálculo da caixa móvel, rebaixamento, leitura do ponto central do menisco

Leitura	Posição da linha		Porcentagem de redução (%)	Nova posição da linha		Diferença	Posição do menisco	Altura do menisco
	em cima	em baixo		em cima	em baixo			
0	199,651	80,588	20,58	159,057	134,557	24,5	145,206	10,649
1	199,502	77,794	20,13	158,813	134,313	24,5	145,263	10,950
2	203,357	78,827	19,67	159,327	134,827	24,5	146,297	11,470
3	207,679	83,897	19,79	160,228	135,728	24,5	147,695	11,967
4	202,565	78,651	19,77	159,187	134,687	24,5	147,126	12,439
5	206,447	81,298	19,58	159,926	135,426	24,5	148,202	12,776

Tabela A. 8 Tabela de cálculo da caixa fixa, rebaixamento, leitura do ponto central do menisco

Leitura	Posição da linha		Porcentagem de redução (%)	Nova posição da linha		Diferença	Posição do menisco	Altura do menisco
	em cima	em baixo		em cima	em baixo			
0	218,5	72,978	20,27	162,69	133,19	29,5	152,501	19,311
1	218,132	72,831	20,30	162,69	133,19	29,5	152,054	18,864
2	214	67,112	20,08	161,69	132,19	29,5	150,573	18,383
3	219,53	71,958	19,99	162,69	133,19	29,5	151,139	17,949
4	214,795	67,069	19,97	161,69	132,19	29,5	149,601	17,411
5	213,916	66,19	19,97	161,69	132,19	29,5	148,737	16,547