

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANA**

**ANDRE LUIZ TEDESCHI**

**VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DE NÍVEL DIGITAL APLICADO NA  
DETERMINAÇÃO DE RECALQUES**

**CURITIBA**

**2015**

ANDRE LUIZ TEDESCHI

VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DE NÍVEL DIGITAL APLICADO NA  
DETERMINAÇÃO DE RECALQUES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Área de Concentração em Geodésia, Departamento de Geomática, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Geodésicas.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Luis Faggion

Co-orientador: Prof. Dr. Silvio H. D. Andolfato

CURITIBA

2015

---

T256v

Tedeschi, Andre Luiz

Validação do sistema de automação de nível digital  
aplicado na determinação de recalques/ Andre Luiz  
Tedeschi. – Curitiba, 2015.

120 f. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de  
Ciências da Terra, Programa de Pós-graduação em Ciências  
Geodésicas, 2015.

Orientador: Pedro Luis Faggion – Co-orientador: Silvio H. D.  
Andolfato. Bibliografia: p. 119-120.

1. Nivelamento. 2. Automação. 3. recalque de estruturas. I.  
Universidade Federal do Paraná. II.Faggion, Pedro Luis. III.  
Andolfato, Silvio H. D. . IV. Título.

CDD: 526.36

---

## TERMO DE APROVAÇÃO

ANDRÉ LUIZ TEDESCHI

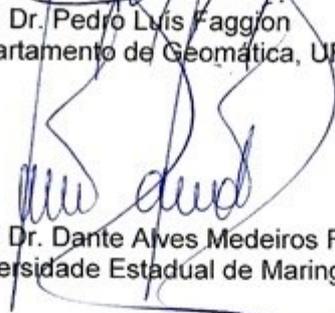
"VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DE NÍVEL DIGITAL APLICADO NA DETERMINAÇÃO DE RECALQUES"

Dissertação nº 284 aprovada como requisito parcial do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

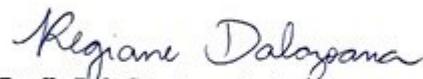
Orientador:



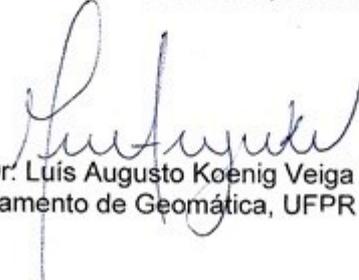
Prof. Dr. Pedro Luis Faggion  
Departamento de Geomática, UFPR



Prof. Dr. Dante Alves Medeiros Filho  
Universidade Estadual de Maringá, UEM



Prof.ª Dr.ª Regiane Dalazõana  
Departamento de Geomática, UFPR



Prof. Dr. Luís Augusto Koenig Veiga  
Departamento de Geomática, UFPR

Curitiba, 27 de julho de 2015.

*Aos meus sobrinhos.  
Aos meus irmãos.  
Aos meus pais,  
Por todo o amor doado,  
Pela construção do meu caráter, por tudo que sou,  
E pelo que ainda posso ser.*

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a minha família pelo apoio, incentivo e carinho dos quais fiz meu alicerce para realizar este trabalho.

Ao meu orientador prof. Dr. Pedro Luis Faggion pelas suas orientações, apoio, paciência. Por ter norteado este trabalho de pesquisa e por toda a sua prestatividade, a minha mais sincera gratidão.

Ao prof. Dr. Silvio Andolfato, pelas orientações, conselhos, prestatividade, apoio que foram valiosos neste trabalho.

Ao prof. Dr. Luis Augusto Koenig Veiga e a prof. Dra. Claudia Pereira Krueger, pelas contribuições inestimáveis para o desenvolvimento deste trabalho.

À prof. Dra. Claudia Robbi, pela importante ajuda em Metodologia de Pesquisa e Ensino.

A Universidade Federal do Paraná, através do Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, por toda a infraestrutura oferecida.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por fomentar este trabalho de pesquisa.

Ao prof. Wander e prof<sup>a</sup>. Érica, pela ajuda inestimável no andamento deste trabalho.

Aos amigos e colegas do CPGCG, em especial, Evelin, Letícia, Gustavo, Leonardo, Niarkios, Andrey, Aulus, Camila, Lucía, Nadisson, Elizeu, Gabriela, Adriana.

À Monica, secretária do CPGCG, pela sua prestatividade e alegria com que me atendeu na minha passagem durante o curso.

Ao Marcos Basso, a quem me deu o “empurrão” inicial para que eu entrasse neste universo da pesquisa, pela amizade iniciada em 2002, meu mais sincero obrigado.

E finalmente, a DEUS.

*“...Mas se desejarmos fortemente o melhor  
e, principalmente, lutarmos pelo melhor...  
O melhor vai se instalar em nossa vida.  
Porque sou do tamanho daquilo que vejo,  
e não do tamanho da minha altura “*

*Carlos Drummond de Andrade*

## RESUMO

O objetivo desta pesquisa é validar um sistema de automação de níveis digitais desenvolvido em uma tese de doutorado (ANDOLFATO, 2010) e apresentado ao curso de pós-graduação em ciências Geodésicas da UFPR. O procedimento de validação consiste em utilizar o nível digital através do nivelamento geométrico pelo método das visadas extremas para determinar desníveis entre alvos distribuídos com diferentes distâncias em relação ao nível. A simulação do recalque foi realizada através de pinos fixados em várias colunas, em diferentes alturas. A primeira fase consistiu em determinar os desníveis e consequentemente os recalques com o sistema convencional, ou seja, utilizando um técnico como observador. Posteriormente estes mesmos recalques foram determinados utilizando o SAND (Sistema de Automação de Nível Digital). O SAND apresentou problemas para efetuar a pontaria nos alvos devido a problemas no funcionamento do seu motor de passo que foram corrigidos ao longo do desenvolvimento da pesquisa. Depois de concluídos os testes, os dados do levantamento com o SAND foram comparados com os do levantamento convencional e foi constatado que as diferenças de valores entre os recalques detectados/calculados por ambos os métodos variaram no décimo do milímetro. A variância dos recalques calculados, em ambos os métodos, foram testadas, utilizando o teste F de Snedecor ao nível de significância de 5%, e constatou-se que a maioria dos resultados passou no teste de hipótese, ou seja, foram determinados com o mesmo grau de precisão.

**Palavras-chave:** nivelamento geométrico, nível digital, automação, recalque, SAND.

## ABSTRACT

The main goal of this work is to validate a digital level automation system developed by Andolfato (2010) on his doctorate thesis and presented to the Geodetic Science post-graduation program. The validation procedure is done utilizing the digital level to determine height differences between targets distributed at different distances from the digital level. The height differences were simulated by fixing pins at wall columns at different heights. The first stage was to determine the height differences using a technician as observer. Afterwards, these same differences were determined using the SAND - Sistema de Automação de Nível Digital (Digital Level Automation System). The SAND presented problems concerning target sighting due to problems on its step motor. These problems were fixed during this research. After all tests, data surveyed by the SAND were compared with the data survey by the aid of a technician (conventional survey). The calculated differences were within the tenth of millimeter. The variances of the height differences in both cases were tested using the F- Snedecor test, at a significance level of 5%, and most values were approved, that is, they were determined with the same degree of precision.

**Keywords:** leveling, digital level, automation, settlement, SAND.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- RECALQUES DE UMA FUNDAÇÃO SUPERFICIAL SOB CARGA VERTICAL CENTRADA.....	8
FIGURA 2- MODELO ESQUEMÁTICO DE FISSURA EM ELEMENTO ESTRUTURAL DE EDIFICAÇÃO OCASIONADA POR RECALQUE DIFERENCIAL EM ELEMENTO DE FUNDAÇÃO .....	9
FIGURA 3- OCORRÊNCIA DE TRINCAS E FISSURAS NAS EDIFICAÇÕES CAUSADAS POR COLAPSOS DE SOLO .....	10
FIGURA 4- ESQUEMA DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO PARA DETERMINAÇÃO DE DESNÍVEIS ENTRE PONTOS. ....	19
FIGURA 5- NIVELAMENTO GEOMÉTRICO POR VISADAS EXTREMAS .....	22
FIGURA 6- ESQUEMA DE UM NIVELAMENTO DE VISADAS EXTREMAS VISTO EM PLANTA. ....	23
FIGURA 7- REPRESENTAÇÃO DOS EIXOS PRINCIPAIS DE UM NÍVEL. ....	25
FIGURA 8- MIRA TOPOGRÁFICA .....	27
FIGURA 9- MIRA DE ÍNVAR .....	28
FIGURA 10- GRÁFICO ILUSTRATIVO COMPARATIVO ENTRE O NÍVEL DIGITAL E O NÍVEL ÓPTICO NO QUE DIZ RESPEITO À AGILIDADE DOS TRABALHOS DE CAMPO. ....	29
FIGURA 11- ESQUEMA DO NÍVEL DIGITAL .....	30
FIGURA 12- ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DO NÍVEL DIGITAL .....	31
FIGURA 13- NÍVEL DIGITAL SOKKIA.....	32
FIGURA 14- NÍVEL DIGITAL DL-102 TOPCON.....	33
FIGURA 15- NÍVEL DIGITAL SPRINTER LEICA. ....	33
FIGURA 16- NÍVEL DIGITAL DNA 03 LEICA .....	34
FIGURA 17- MIRA COM CÓDIGO DE BARRAS .....	34
FIGURA 18- NÍVEL DIGITAL DNA03 .....	37
FIGURA 19- REPRESENTAÇÃO DO ERRO DE VERTICALIDADE DO EIXO PRINCIPAL.....	39
FIGURA 20- REPRESENTAÇÃO DO ERRO DE COLIMAÇÃO .....	40
FIGURA 21- BOLHA CENTRADA NO CÍRCULO .....	41
FIGURA 22- BOLHA DESLOCADA PARA FORA DO CIRCULO.....	42
FIGURA 23- CHAVE DE RETIFICAÇÃO (CHAVE ALLE).....	42
FIGURA 24- PARAFUSOS DE RETIFICAÇÃO .....	43
FIGURA 25- USO DA CHAVE ALLE NOS PARAFUSOS DE RETIFICAÇÃO .....	43
FIGURA 26- VISADAS IGUAIS NO MÉTODO PEG TEST.....	45
FIGURA 27- VISADAS EXTREMAS NO MÉTODO PEG TEST .....	46
FIGURA 28- ILUSTRAÇÃO DO MÉTODO DE KUKKAMAKI .....	49
FIGURA 29- NÍVEL DIGITAL MOTORIZADO .....	57

FIGURA 30- SISTEMA DE NÍVEL DIGITAL MOTORIZADO.....	58
FIGURA 31- SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DE NÍVEL.....	59
FIGURA 32- MOTORES DE PASSO ACOPLADOS NO DAMP.....	61
FIGURA 33- PARTES COMPONENTES DO DAMP.....	62
FIGURA 34- ANEL DE BORRACHA E POLIA.....	62
FIGURA 35- SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DE NÍVEL DIGITAL.....	63
FIGURA 36- TELA DO SOFTWARE SAMN.....	65
FIGURA 37- DADOS DE SAÍDA FORNECIDOS PELO SAMN.....	66
FIGURA 38- ALVOS POSICIONADOS NOS PONTOS.....	68
FIGURA 39- DESENHO DOS DETALHES DA MIRA FEITO NO AUTOCAD R14.....	69
FIGURA 40- COMPARAÇÃO DO ALVO CONSTRUÍDO COM A MIRA ORIGINAL.....	70
FIGURA 41- NOVOS ALVOS CONFECCIONADOS.....	70
FIGURA 42- REPRESENTAÇÃO DOS ORIFÍCIOS FEITOS NA MIRA PARA SIMULAR RECALQUES.....	72
FIGURA 43- FUIROS NA MIRA ALVO PARA POSSIBILITAR A SIMULAÇÃO DE RECALQUE.....	73
FIGURA 44- ALVOS POSICIONADOS NAS DEPENDÊNCIAS DO LAIG.....	79
FIGURA 45- SAND OPERANDO NAS DEPENDÊNCIAS DO LAIG.....	80
FIGURA 46- CORREDOR DO BLOCO VI.....	82
FIGURA 47- TESTE DE LEITURA EM AMBIENTES COM POUCA ILUMINAÇÃO (DEPENDÊNCIAS DO LAIG).....	85
FIGURA 48- DISTANCIA DO NÍVEL AOS ALVOS.....	86
FIGURA 49- ALVOS ILUMINADOS POR UMA LANTERNA.....	87
FIGURA 50- ALVOS POSICIONADOS NO CORREDOR DO BLOCO VI.....	88
FIGURA 51- CONDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO PARA A REALIZAÇÃO DO TESTE.....	89

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1- IMPORTÂNCIA RELATIVA DOS RECALQUES PARA DIFERENTES TIPOS DE SOLO.	8
QUADRO 2- CLASSIFICAÇÃO DOS LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS SEGUNDO SUA FINALIDADE .....	20
QUADRO 3- RESULTADOS DOS TESTES PARA DETECÇÃO DE ALVOS ILUMINADOS POR UMA LANTERNA.....	87

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1- CLASSIFICAÇÃO DOS NÍVEIS QUANTO A PRECISÃO.....	26
TABELA 2- VALORES DE LEITURA PARA A POSIÇÃO T1 DOS ALVOS.....	74
TABELA 3- VALORES DE DISTÂNCIA PARA A POSIÇÃO T1.....	75
TABELA 4- PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DAS OBSERVAÇÕES PARA A POSIÇÃO T1 DOS ALVOS.....	75
TABELA 5- VALORES DE LEITURA PARA A POSIÇÃO T2 DOS ALVOS.....	76
TABELA 6- VALORES DE DISTÂNCIA PARA A POSIÇÃO T2.....	76
TABELA 7- PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DAS OBSERVAÇÕES PARA A POSIÇÃO T2 DOS ALVOS.....	77
TABELA 8- VALORES DE LEITURA PARA A POSIÇÃO T3 DOS ALVOS.....	77
TABELA 9- VALORES DE DISTÂNCIA PARA A POSIÇÃO T3.....	78
TABELA 10- PARÂMETROS ESTATÍSTICOS PARA A POSIÇÃO T3 DOS ALVOS.....	78
TABELA 11- PARAMETROS ESTATISTICOS DAS OBSERVAÇÕES REALIZADAS COM O SAND PARA A POSIÇÃO T1 DOS ALVOS.....	83
TABELA 12- PARAMETROS ESTATISTICOS DAS OBSERVAÇÕES REALIZADAS COM O SAND PARA A POSIÇÃO T2 DOS ALVOS.....	83
TABELA 13- PARAMETROS ESTATISTICOS DAS OBSERVAÇÕES REALIZADAS COM O SAND PARA A POSIÇÃO T3 DOS ALVOS.....	84
TABELA 14- RESÍDUOS DAS OBSERVAÇÕES NO PERÍODO DA TARDE NA POSIÇÃO T1.....	90
TABELA 15- RESÍDUOS DAS OBSERVAÇÕES NO PERÍODO DA NOITE NA POSIÇÃO T1.....	90
TABELA 16- RESÍDUOS DAS OBSERVAÇÕES NO PERÍODO DA TARDE NA POSIÇÃO T3.....	91
TABELA 17- RESÍDUOS DAS OBSERVAÇÕES NO PERÍODO DA NOITE NA POSIÇÃO T3.....	91
TABELA 18- DETERMINAÇÃO DO RECALQUE R1(PERÍODO DIURNO).....	92
TABELA 19- DETERMINAÇÃO DO RECALQUE R3 (PERÍODO DIURNO).....	93
TABELA 20- DETERMINAÇÃO DO RECALQUE R2 (PERÍODO DIURNO).....	93
TABELA 21- DETERMINAÇÃO DO RECALQUE R1 (PERÍODO NOTURNO).....	94
TABELA 22- DETERMINAÇÃO DO RECALQUE R3 (PERÍODO NOTURNO).....	94
TABELA 23- DETERMINAÇÃO DO RECALQUE R2 (PERÍODO NOTURNO).....	95
TABELA 24- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R1 NO ALVO 1.....	96
TABELA 25- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R3 NO ALVO 1.....	96
TABELA 26- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R2 NO ALVO 1.....	97
TABELA 27- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R1 NO ALVO 2.....	97
TABELA 28- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R3 NO ALVO 2.....	97

TABELA 29- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R2 NO ALVO 2 .....	98
TABELA 30- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R1 NO ALVO 3 .....	98
TABELA 31- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R3 NO ALVO 3 .....	98
TABELA 32- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R2 NO ALVO 3 .....	99
TABELA 33- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R1 NO ALVO 4 .....	99
TABELA 34- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R3 NO ALVO 4 .....	99
TABELA 35- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R2 NO ALVO 4 .....	100
TABELA 36-RECALQUES NIVELAMENTO CONVENCIONAL EM R1, R2 E R3 .....	101
TABELA 37- RECALQUES SAND EM R1, R2 E R3.....	102
TABELA 38- DIFERENÇA ENTRE OS RECALQUES DETERMINADOS NO NIVELAMENTO CONVENCIONAL E OS RECALQUES DETERMINADOS COM O SAND .....	102
TABELA 39- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R1 NO ALVO 1 .....	103
TABELA 40- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R1 NO ALVO 2 .....	103
TABELA 41- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R1 NO ALVO 3 .....	104
TABELA 42- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R1 NO ALVO 4 .....	104
TABELA 43- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R1 NO ALVO 5 .....	104
TABELA 44- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R1 NO ALVO 6 .....	105
TABELA 45- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R2 NO ALVO 1 .....	105
TABELA 46- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R2 NO ALVO 3 .....	105
TABELA 47- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R2 NO ALVO 4 .....	106
TABELA 48- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R2 NO ALVO 5 .....	106
TABELA 49- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R2 NO ALVO 6 .....	106
TABELA 50- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R3 NO ALVO 1 .....	107
TABELA 51- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R3 NO ALVO 3 .....	107
TABELA 52- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R3 NO ALVO 4 .....	107
TABELA 53- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R3 NO ALVO 5 .....	108
TABELA 54- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R3 NO ALVO 6 .....	108

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
CCD	<i>Charge-Coupled Device</i>
CLP	Controlador Lógico Programável
CNC	Controlador Numérico Computadorizado
DSG	Diretoria de Serviço Geográfico
GLONASS	<i>Global Orbiting Navigation Satellite System</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
LAIG	Laboratório de Instrumentação Geodésica
P.S.	Poliestireno Standard
PVC	Policloreto de Polivinila
SAMN	Software para Automação do Nível
SAND	Sistema de Automação de Nível Digital

## Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.3 JUSTIFICATIVA.....	4
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	6
2.1 RECALQUE .....	6
2.1.1 Recalque Total, Absoluto ou Final.....	7
2.1.2 Recalque Diferencial .....	9
2.1.3 Recalque Diferencial Específico .....	10
2.1.4 Efeitos de Recalques em Estruturas .....	11
2.2 MONITORAMENTO DE ESTRUTURAS .....	11
2.2.1 Histórico .....	11
2.2.2 Monitoramento Geodésico .....	15
2.3 NIVELAMENTO GEOMÉTRICO .....	18
2.3.1 Aspectos Gerais .....	18
2.3.2 Nivelamento Geométrico por Visadas Extremas.....	21
2.3.3 Níveis Topográficos/Geodésicos .....	23
2.3.3.1 Níveis ópticos.....	25
2.3.3.2 Níveis digitais.....	28
2.3.3.3 Nível digital DNA 03.....	36
2.3.4 Fontes de Erros no Nivelamento Geométrico: Método de Visadas extremas .....	38
2.3.4.1 Erro de verticalidade do eixo principal .....	39
2.3.4.2 Erro de colimação vertical do nível .....	40
2.3.5 Verificação da verticalidade do eixo principal: .....	41
2.3.6 Métodos Para Verificação do erro de colimação.....	44
2.3.6.1 Peg test.....	44
2.3.6.2 Método de Kukkamaki .....	48
2.4 AUTOMAÇÃO .....	50
2.4.1 Aspectos Gerais .....	50
2.4.2 Automação na Instrumentação Geodésica .....	54

2.4.3 Automação de Nível Digital: Estado da Arte .....	56
2.4.3.1 Nível Digital Motorizado .....	56
2.4.3.2 Nível digital motorizado - ANGERER E CPS.....	57
2.4.3.3 Sistema de movimento controlado para níveis digitais Leica e Zeiss – Soloexperts .	58
2.5 SAND (Sistema de Automação de Nível Digital) .....	59
3 METODOLOGIA PROPOSTA .....	67
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	67
3.2 MIRA GRADUADA COM CÓDIGO DE BARRAS.....	68
3.3 TESTES REALIZADOS .....	71
3.3.1 Verificação da Leitura das Miras Confeccionadas .....	71
3.3.2 Nivelamento Geométrico Convencional.....	71
3.3.3 Testes de Estabilidade e Focalização.....	78
3.3.4 Nivelamento Geométrico utilizando o SAND. ....	81
3.3.5 Testes de Leitura de Alvos em Condições de Pouca Luminosidade .....	85
3.3.5.1 Teste nas dependências do LAIG .....	85
3.3.5.2 Teste no corredor do bloco VI.....	88
3.3.6 Determinação e Comparação de Recalques Absolutos entre o SAND e o Nivelamento Geométrico Convencional .....	101
4 CONSIDERAÇÕES, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	109
4.1 CONCLUSÕES .....	109
4.2 RECOMENDAÇÕES.....	110
REFERÊNCIAS .....	111
REFERÊNCIAS CONSULTADAS .....	119

# 1 INTRODUÇÃO

No âmbito do monitoramento de estruturas o recalque é uma das principais causas de patologias em edificações, existindo a necessidade de seu controle, desde sua identificação até a sua estabilização (CORRÊA, 2012). O nivelamento geométrico é uma das técnicas geodésicas mais antigas e precisas para essa determinação (ANDOLFATO, 2010). Sua principal aplicação é na determinação de redes geodésicas de primeira ordem e em diversas áreas da engenharia, como por exemplo, no monitoramento de estruturas tais como pontes, edifícios, barragens entre outros. Com o passar do tempo os instrumentos de medição têm-se tornado cada vez mais precisos e de relativa facilidade no manuseio, interagindo com programas computacionais, dando celeridade a medidas de grandezas em campo e minimizando erros oriundos do observador.

Com o avanço da tecnologia microeletrônica a automação da instrumentação topográfica hoje é uma realidade como, por exemplo, o que ocorre com as estações totais robotizadas e mais recentemente com os níveis digitais, não em escala industrial, mas através de uma tese de doutorado defendida no Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas (CPGCG) da Universidade Federal do Paraná.

No caso de monitoramento de estruturas para a detecção de possíveis recalques, a automação dos instrumentos geodésicos de precisão visam à otimização do processo de leitura, o armazenamento e o processamento dos dados e a redução do tempo de trabalho, aumentando a produtividade e minimizando erros que acompanham o processo de mensuração. Outra vantagem da automação é a significativa redução de mão de obra humana em edificações que estejam com sua estrutura comprometida, evitando riscos, ou ainda em construções onde o acesso é complicado, dificultando a tarefa do monitoramento.

Andolfato (2010) propôs e criou um sistema de automação (SAND) para o nível digital *Leica* DNA03, trabalho pioneiro no Brasil, consistindo em um sistema que automatiza as funções de movimento geral e micrométrico horizontal e focalização da imagem, através da acoplagem de motores de passo em um

dispositivo eletromecânico, sendo estes motores controlados por um software específico.

O escopo da presente pesquisa é validar este sistema de automação de nível digital através de testes para verificação da oscilação do compensador do nível, da estabilidade da focalização da imagem para leitura nos alvos, verificação da operacionalidade do sistema em ambientes com pouca iluminação, verificações e comparações de mensurações em testes a serem realizados com simulações de recalques, em situações utilizando o SAND e o nivelamento geométrico convencional para posterior análise e conclusão.

### 1.1 OBJETIVO GERAL

Validar o Sistema de Automação do Nível Digital DNA 03, aplicado na determinação de recalques.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar se o motor de passo interfere na estabilidade (calagem) do nível digital durante o processo de observação e armazenamento dos dados;
- Verificar se o sistema de automação executa de forma satisfatória o movimento micrométrico horizontal do nível digital, ou seja, se o sistema que utiliza o motor de passo para executar a tarefa de realizar pontaria nos alvos é eficiente;
- Verificar se o conjunto polia/roldana do SAND acoplado junto ao parafuso de focalização do nível digital DNA 03 executa de forma satisfatória o movimento de focalização da imagem para possibilitar a leitura da régua com código de barras;
- Realizar observações em ambientes com pouca luminosidade para verificar em quais condições o sistema opera e quais suas limitações;

- Verificar se os recalques detectados pela técnica de nivelamento geométrico utilizando o SAND são da mesma ordem de grandeza dos recalques determinados pela técnica de nivelamento geométrico sem o uso deste sistema.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

A automação impactou de forma significativa os levantamentos geodésicos de precisão. Instrumentos como corrente de agrimensur, goniômetros, teodolitos, níveis óptico-mecânicos entre outros foram gradativamente sendo substituídos por equipamentos mais modernos, com capacidade de processamento, que proporcionaram melhoras significativas na precisão, na acurácia e voltados para produtividade em campo.

A rápida evolução nas áreas da engenharia, da microeletrônica e da computação propiciou à instrumentação geodésica este salto de qualidade. Um exemplo disso são as estações totais, que executam medidas eletrônicas de distâncias, leituras automáticas de direções e reconhecimento automático de alvos além de realizar os cálculos de coordenadas em tempo real.

Esta evolução também pode ser presenciada nos níveis geodésicos, que sofreram grandes mudanças no modo de leitura e precisões, como no caso dos níveis digitais. Apesar de existirem estudos e protótipos de sistema de automação para níveis digitais, ainda há certa resistência para seu incentivo devido ao seu custo benefício. Mesmo assim, protótipos de baixo custo que automatizam o movimento horizontal micrométrico para detecção automática de alvos e movimento de focalização do alvo já foram desenvolvidos para tentar contornar este problema e incentivar a produção em larga escala deste tipo de produto (PELLEGRINELLI *et al.*, 2013).

A ausência de um sistema de automação de nível digital torna-se um fator limitante quando se pensa em monitoramento de estruturas para a detecção de possíveis recalques com o uso do nível. Principalmente quando se pensa em um sistema voltado ao monitoramento contínuo, envolvendo grande volume de dados e minimizando erros de observação oriundos do observador.

Atentando a este problema, Andolfato (2010) propôs e construiu um sistema de automação para nível digital (SAND), desenvolvido especificamente para o nível digital DNA 03, da marca *LEICA*. Este sistema automatiza o movimento horizontal do

nível e o movimento de focalização do alvo. O SAND apresentou bons resultados com relação à leitura e detecção de alvos, mas não foi testado em situações que permitam a detecção de recalques em estruturas, não tendo, dessarte, sua eficácia testada em plenitude.

Portanto, para uma validação completa deste sistema, uma investigação mais ampla se faz necessária para verificação do funcionamento do sistema em situações de variações nas medidas observadas durante um determinado período de tempo, não apenas para verificar sua capacidade de detectar pequenos deslocamentos verticais, mas também de testar seus limites de operacionalidade no que tange a distância nível/alvo, estabilidade de calagem durante o processo de observação dos alvos e o movimento de focalização para tomada da leitura.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste tópico, realizar-se-á uma abordagem de forma sucinta em alguns aspectos considerados relevantes para a elaboração desta dissertação. Uma breve abordagem sobre Nivelamento Geométrico com a instrumentação utilizada, dando-se ênfase ao nível digital. Far-se-á também outra breve abordagem sobre recalques em construções civis, monitoramento de estruturas e o impacto da automação nos levantamentos geodésicos, que englobam o contexto deste trabalho.

### 2.1 RECALQUE

Recalque, segundo a definição da NBR 6122 (2010), é o deslocamento na vertical descendente que uma estrutura sofre. Quando este deslocamento é ascendente, denomina-se elevação. Por convenção o recalque é sempre representado com sinal positivo. Nas obras em que as cargas mais importantes são as verticais, as medições dos recalques se fazem imprescindíveis para o acompanhamento e monitoramento da obra.

Recalque, na área da Engenharia, significa um fato que ocorre quando uma edificação sofre um rebaixamento devido ao adensamento do solo (diminuição dos seus vazios) sob sua fundação. É um deslocamento de uma estrutura, piso ou terrapleno devido à deformação do solo (TOMINAGA *et al.*, 2009).

Milititsky *et al.* (2008) afirmam que todas as fundações sob carga apresentam recalques, uma vez que os solos são materiais deformáveis e que em sendo carregados apresentam variações de volume, provocando deslocamentos das fundações.

As deformações são um fenômeno normal dos solos (CORRÊA, 2012). Quando excedem certo limite, podem conduzir a fraturas e a deslizamentos prejudiciais.

Isto é uma característica de todos os tipos de solos que, quando submetidos a uma carga, sofrem recalques, inevitavelmente, em maior ou menor grau, dependendo das propriedades de cada solo e da intensidade do carregamento. Os recalques geralmente tendem a cessar ou estabilizar após certo período de tempo, mais ou menos prolongado e que depende das peculiaridades geotécnicas dos solos (TOMINAGA *et al.*, 2009). Recalques em solos arenosos podem se estabilizar em poucas horas ou dias; já recalques em solos argilosos moles tendem a cessar ou estabilizar somente após algumas décadas (CINTRA, 1998).

Os recalques podem ocorrer tanto em solos que suportam edificações com fundações rasas (sapata, *radiers*, etc) quanto com fundações profundas (estaca, broca, tubulões, etc), a depender das condições geotécnicas do terreno onde as fundações serão implantadas (TOMINAGA *et al.*, 2009).

### 2.1.1 Recalque Total, Absoluto ou Final

Segundo Velloso e Lopes (2004), o recalque total, absoluto ou final é a soma das parcelas de recalques denominadas de recalque instantâneo ou imediato (elástico) ( $\rho_i$ ) e recalque de adensamento ou que se processa com o tempo ( $\rho_t$ ).

$$\rho_f = \rho_i + \rho_t \quad (1)$$

O recalque imediato ( $\rho_i$ ) é o deslocamento que ocorre imediatamente após o carregamento. A parcela de recalque que ocorre com o tempo se deve ao adensamento (migração de água dos poros com consequente redução no índice de vazios) e a fenômenos viscosos, também tratados por fluência ou adensamento secundário (SOARES, 2005). Logo, pode-se determinar o recalque em função do tempo pela seguinte equação:

$$\rho_t = \rho_a + \rho_v \quad (2)$$

sendo:

$\rho_a$  – parcela devida ao adensamento;

$\rho_v$  - parcela devida a fenômenos viscosos.

O esquema a seguir apresenta os elementos envolvidos no recalque de uma estrutura submetida a uma carga  $Q$ . (FIGURA 1).

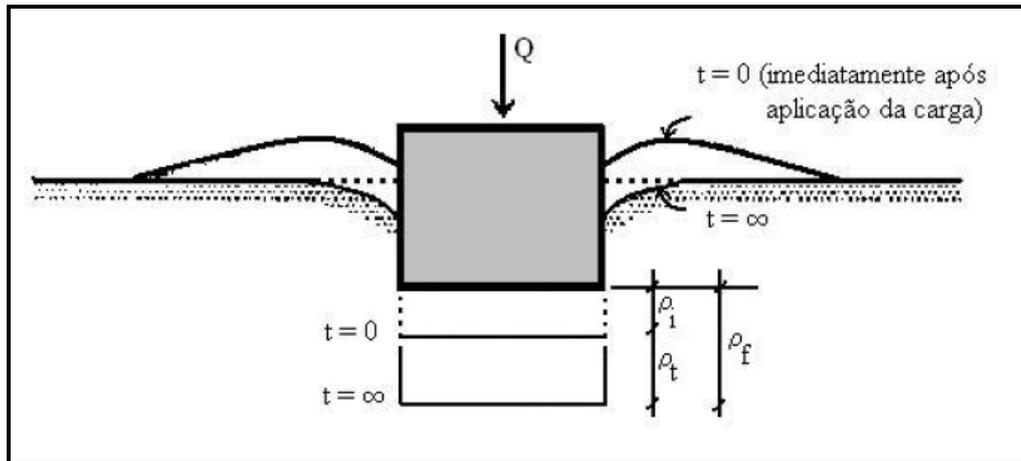


FIGURA 1- RECALQUES DE UMA FUNDAÇÃO SUPERFICIAL SOB CARGA VERTICAL CENTRADA

FONTE: SOARES 2005.

Holtz (1991) ilustra a importância relativa de cada tipo de recalque nos diferentes tipos de solos: (QUADRO 1) :

Tipo de solo	Recalque Imediato	Recalque por Adensamento	Adensamento Secundário
Areias	Sim	não	não
Argilas	possivelmente	sim	possivelmente

QUADRO 1- IMPORTÂNCIA RELATIVA DOS RECALQUES PARA DIFERENTES TIPOS DE SOLO

FONTE: HOLTZ (1991)

Para solos granulares (areia), de acordo com Skempton e MacDonald (1956), os valores máximos admissíveis de recalques absolutos são da ordem de 40 mm

para fundações isoladas e de 40 a 60 mm para *radiers*. Já o limite para recalques totais para solos argilosos é de 65 mm para fundações isoladas e entre 65 a 100 mm para *radiers*.

### 2.1.2 Recalque Diferencial

A diferença entre os recalques de dois elementos de fundação denomina-se *recalque diferencial* (FIGURA 2). Este impõe distorções aos elementos estruturais das edificações de tal forma que, dependendo de sua magnitude, poderão gerar fissuras e trincas nas mesmas (TOMINAGA *et al.*, 2009). Segundo Skempton e MacDonald (1956), para fundações assentes em solos granulares, o limite sugerido é 25 mm em fundações isoladas. Para solos argilosos, o limite proposto é de 40 mm para recalque máximo diferencial.

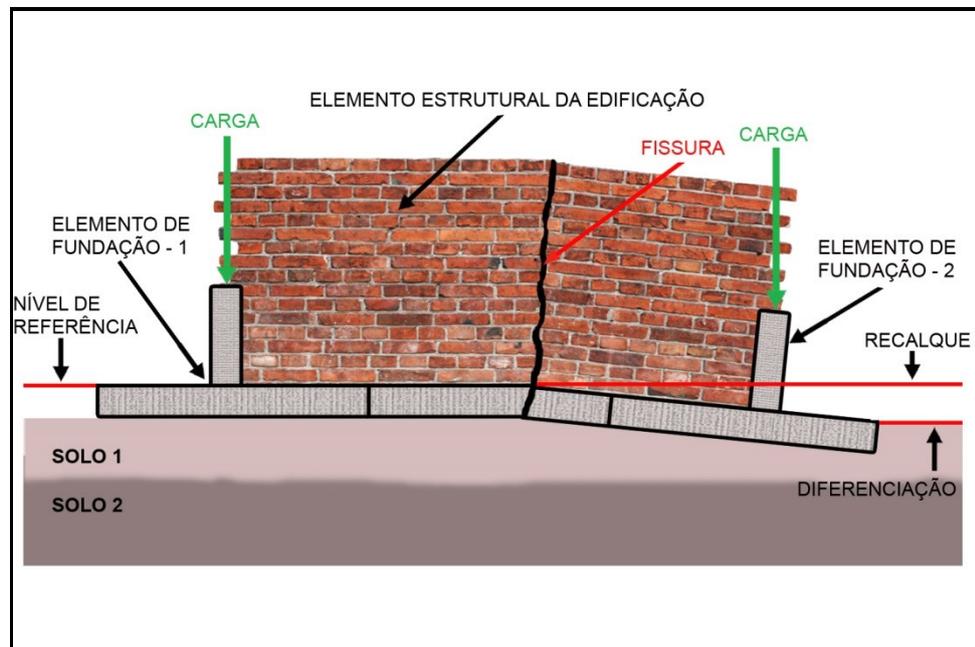


FIGURA 2- MODELO ESQUEMÁTICO DE FISSURA EM ELEMENTO ESTRUTURAL DE EDIFICAÇÃO OCASIONADA POR RECALQUE DIFERENCIAL EM ELEMENTO DE FUNDAÇÃO

FONTE: MENDES, 2009

A FIGURA 3 ilustra um exemplo de ocorrência de trincas e fissuras nas edificações causadas por recalques.



FIGURA 3- OCORRÊNCIA DE TRINCAS E FISSURAS NAS EDIFICAÇÕES CAUSADAS POR COLAPSOS DE SOLO

FONTE: O AUTOR

Para a determinação do recalque diferencial, utiliza-se a seguinte equação:

$$\bar{\delta} = \rho_{f1} - \rho_{f2} \quad (3)$$

sendo:

$\bar{\delta}$  -- Recalque diferencial;

$\rho_{f1}$  – Recalque final do ponto 1;

$\rho_{f2}$  – Recalque final do ponto 2.

### 2.1.3 Recalque Diferencial Específico

É a relação entre o recalque diferencial  $\bar{\delta}$  e a distância horizontal  $L$ , entre dois pontos quaisquer da fundação.

$$\bar{\delta}_e = \bar{\delta}/L \quad (4)$$

Sendo:

δ<sub>e</sub>- Recalque diferencial específico entre dois pontos de uma mesma estrutura.

#### 2.1.4 Efeitos de Recalques em Estruturas

Segundo Fabrício e Rossignolo (sd), os efeitos dos recalques nas estruturas podem ser classificados em três grupos:

- a) **Danos estruturais** - são os danos causados à estrutura propriamente dita (pilares, vigas e lajes);
- b) **Danos arquitetônicos** - são os danos causados à estética da construção, tais como trincas em paredes e acabamentos, rupturas de painéis de vidro ou mármore, etc;
- c) **Danos funcionais** - são os danos causados à utilização da estrutura com refluxo ou ruptura de esgotos e galerias, emperramento das portas e janelas, desgaste excessivo de elevadores (desaprumo da estrutura), etc.

Segundo extensa pesquisa realizada por Skempton e MacDonald (1956), na qual foram estudados cerca de 100 edifícios, danificados ou não, foi constatado que os danos funcionais dependem principalmente da grandeza dos recalques totais; já os danos estruturais e arquitetônicos dependem essencialmente dos recalques diferenciais específicos.

## 2.2 MONITORAMENTO DE ESTRUTURAS

### 2.2.1 Histórico

Como recordação histórica, podem-se citar os trabalhos desenvolvidos na

Suíça no ano de 1919 para investigação das deformações de muros de contenção, executados através das redes trigonométricas clássicas. Nas décadas seguintes, as pesquisas e o desenvolvimento tecnológico permitiram uma verdadeira revolução na Geodésia. Surgiram tecnologias como distanciômetros eletrônicos, sistemas inerciais, fotogrametria e posicionamento por satélites (GPS, GLONASS) e imageamento (LANDSAT, SPOT, IKONOS, QUICKBIRD, entre outros) (BUENO, 2000).

Além disso, esta área incorporou a informática, as leituras por código de barras, o reconhecimento automático de alvos, assim como os scanners a laser e os medidores de distância por interferometria.

Ainda hoje, em certos casos, os métodos clássicos são eficientes no monitoramento de estruturas, porém são uma evolução em relação àqueles do princípio, quanto à precisão instrumental, ao registro eletrônico, ao uso de equipamentos robóticos e aos programas computacionais, que ampliaram muito a capacidade de aquisição, de processamento e de tratamento dos dados (BUENO, 2000).

Com o avanço da tecnologia na área das Engenharias, o homem ousa mais a cada dia na concepção de novos projetos. Pontes, edifícios, estádios entre outras obras de grande porte requerem cuidados maiores desde a sua idealização, na concepção do projeto, passando pela etapa da execução da infraestrutura e superestrutura, até o acabamento. Parte destes cuidados refere-se ao controle de deslocamentos (recalques) da estrutura que está sendo edificada. Em alguns casos, faz-se necessário o monitoramento da estrutura mesmo após sua execução, como é o caso das barragens.

No caso do Monitoramento Geodésico, o acompanhamento é realizado através da comparação de coordenadas geodésicas entre duas ou mais épocas distintas. A importância do monitoramento de recalques em estruturas está intimamente relacionada a questões como segurança e durabilidade das construções, que precisam ser acompanhadas constantemente desde o início da obra, como controle de qualidade, verificando seu comportamento durante sua construção e utilização (CORRÊA, 2012).

O desenvolvimento tecnológico crescente que se tem observado nos últimos tempos permite que engenheiros e cientistas, das mais diversas áreas, efetuem medidas cada vez mais precisas. Na engenharia, os recursos advindos destes avanços possibilitam metodologias bastante eficientes no estudo e monitoramento de deformações/deslocamentos em grandes estruturas, tais como: barragens, pontes, instalações portuárias, etc (GAGG, 1997). A falta de um monitoramento contínuo adequado pode acarretar a não detecção de problemas estruturais em construções civis e conseqüentemente proporcionar danos irreparáveis, com prejuízos financeiros, ao meio ambiente e a vida humana.

Segundo Miranda (2007) o monitoramento trata do acompanhamento e estudo, contínuo e sistemático, do comportamento de fenômenos, eventos e situações específicas cujas condições desejam-se identificar, avaliar e comparar. Desta forma, é possível estudar as tendências ao longo do tempo, ou seja, verificar as condições presentes, projetando situações futuras.

Várias pesquisas de mestrado e doutorado têm sido desenvolvidas nos últimos anos no âmbito de monitoramento de estruturas, dos quais se citam alguns exemplos:

Gagg (1997), em sua dissertação, abordou o monitoramento da Barragem Bento Munhoz da Rocha através de medidas gravimétricas visando detectar subsidência. Os resultados foram posteriormente comparados com dados oriundos de Nivelamento Geométrico também efetuado na região.

Granemann (2005), em sua dissertação, propõe o estabelecimento de uma rede geodésica para o monitoramento da barragem formadora do reservatório da usina hidrelétrica de Salto Caxias assim como metodologias para a realização das observações de campo e processamento dos dados.

Zocolotti Filho (2005), em sua dissertação, trata da utilização de técnicas de poligonização de precisão para o monitoramento de pontos localizados em galerias de inspeção na usina de Salto Caxias.

Soares (2005), em sua dissertação, realizou uma análise de recalques de edifícios, em solos melhorados com estacas de compactação, através de monitoramento de cinco edifícios, usando a técnica de nivelamento geométrico.

Krelling (2006), em sua tese de doutorado, desenvolveu um inclinômetro fotomecânico utilizando sensor óptico de baixo custo destinado ao monitoramento geodésico/geotécnico de estruturas de engenharia civil.

Miranda (2007), em sua dissertação, propôs um estudo, aplicação e desenvolvimento de metodologias para otimização do monitoramento de pontos em áreas instáveis utilizando estação total.

Nadal (2008), em sua dissertação, aborda o controle e a operação remota de estações totais robotizadas voltadas à auscultação geodésica.

Salomão e Faggion (2008) realizaram um trabalho de monitoramento de recalques na construção do edifício *THE ROYAL PLAZA*, situado na cidade de Curitiba, utilizando o método direto de determinação de desníveis com a aplicação da técnica de nivelamento geométrico de primeira ordem com o uso de um nível digital.

Neves (2008) apresenta um estudo sobre monitoramento de estruturas com a finalidade de determinar se existem deslocamentos de pontos localizados junto aos blocos que formam a barragem da usina hidrelétrica de Salto Caxias.

Silva (2012), em sua dissertação, propôs o monitoramento de recalque na Usina Hidrelétrica de Mauá através de uma metodologia que possibilite a aplicação do nivelamento trigonométrico, método *Leap-frog*, na determinação de movimentos verticais com a precisão requerida.

Santos *et al.* (2011), realizaram um trabalho de pesquisa e estudo acerca do uso de nivelamento geométrico como ferramenta para monitoramento de qualquer espécie de deslocamento vertical, que venha a ocorrer em edificações em construção, com resultados satisfatórios.

Corrêa (2012), em sua dissertação, desenvolveu uma metodologia para monitoramento de recalques em estruturas de concreto armado por meio de nivelamento geométrico de precisão.

Siguel (2013), em sua dissertação, trata do monitoramento da barragem de Mauá utilizando irradiação tridimensional.

Graça (2014) propõe em sua dissertação uma análise comparativa de deslocamentos relativos entre blocos de concreto que compõem uma barragem da usina hidrelétrica, através de uma poligonal apoiada em rede geodésica implantada no local e com dados oriundos de medidores triortogonais de junta.

Muguio (2012) trata da implantação e análise de estação GNSS para o monitoramento contínuo da barragem da usina hidrelétrica de Salto Caxias.

Lenartovicz (2013), em sua dissertação de mestrado, avalia a potencialidade do laser scanner terrestre no monitoramento da UHE de Mauá.

Matto e Ragazi (2013) em trabalho de conclusão de curso na área de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura realizaram o monitoramento de estruturas utilizando o software GEOMOS da LEICA.

Estes e outros trabalhos enfatizam a importância e a relevância que esta questão do monitoramento tem para a engenharia e para a sociedade como um todo, apontando para a necessidade de pesquisa e desenvolvimento de métodos e equipamentos cada vez mais eficientes com o intuito de proporcionar segurança, rapidez e soluções na área de levantamentos Geodésicos.

O desenvolvimento e validação de um protótipo que automatiza as funções de pontaria, focalização e leitura de alvos (com o uso de um nível digital) na técnica de nivelamento geométrico com o intuito de otimizar os trabalhos de campo corrobora com este contexto e ressalta a importância da topografia automatizada nos trabalhos de levantamentos topográficos, geodésicos, monitoramento entre outros.

### 2.2.2 Monitoramento Geodésico

O monitoramento geodésico tem como objetivo a determinação de coordenadas de pontos em diferentes épocas, subsidiando o estudo e o acompanhamento da estrutura monitorada. Isto é feito não somente após catástrofes

ou colapsos, mas também como procedimento rotineiro, voltado para este acompanhamento. (MIRANDA, 2012).

Segundo Silveira (2003), monitorar uma estrutura do ponto de vista do posicionamento geodésico significa determinar e comparar as coordenadas de pontos em duas épocas distintas e verificar se houveram variações significativas nestas coordenadas, dentro de certo nível de confiabilidade (significância).

Segundo Teskey e Porter<sup>1</sup> (1988) apud Chaves (1994), as deformações de estruturas de engenharia podem ser determinadas pelos seguintes métodos:

- métodos de levantamentos;
- métodos geotécnicos;
- métodos estruturais.

A publicação do Department of Army (1994) traz que as técnicas de medição de deslocamentos têm tradicionalmente sido categorizadas em dois grupos de acordo com o conjunto de profissionais que utilizam esta tecnologia:

a) **levantamentos geodésicos** que incluem levantamentos terrestres convencionais, fotogrametria, posicionamento por satélites e algumas técnicas especiais (interferometria, nivelamento hidrostático, alinhamento e outros).

b) **medidas geotécnicas e estruturais** do local do deslocamento utilizando “*tiltmeters*”, “*strainmeters*”, “*extensometers*”, “*joint meters*”, “*plumb lines*”, etc.

Kahmen e Faig (1988) dizem que para estudar deslocamentos podem ser usados métodos físicos e geodésicos.

Os métodos físicos são utilizados para detectar movimentos relativos. Entre os equipamentos empregados podem-se destacar os pêndulos, extensômetros, interferômetros, e outros.

---

<sup>1</sup> TESKEY, W.F. AND T.R. PORTER. 1988. **An integrated method for monitoring the deformation behavior of engineering structures**, Proceedings of 5th. International (FIG) Symposium on Deformation Measurements and 5th. Canadian Symposium on Mining Surveying and Rock Deformation Measurements, Ed. by Chrzanowski, A. and W. Wells, Department of Surveying Engineering, University of New Brunswick, Fredericton, N.B., pp. 536-547.

Os métodos geodésicos são utilizados para detectar movimentos absolutos. Da mesma forma, Department of Army (1994) enfatiza que os levantamentos geodésicos têm sido tradicionalmente utilizados principalmente para a determinação de deslocamentos absolutos de pontos selecionados sobre a superfície do objeto em relação a alguns pontos de referência considerados estáveis.

Kuang (1996) cita como principais métodos de monitoramento geodésico a poligonação, triangulação, trilateração, levantamentos utilizando a tecnologia GNSS e o nivelamento geométrico.

Segundo Granemann (2005), os instrumentos que mais se destacam no monitoramento de estruturas são: estações totais, níveis, miras de ínvar, trenas, prismas de reflexão e gravímetros.

Chaves (1994) destaca algumas vantagens dos métodos geodésicos:

- fornecem o estado global de uma estrutura;
- contém o esquema próprio de verificar os resultados e são capazes de avaliar a acurácia da medição globalmente;
- fornecem versatilidade e adequabilidade para qualquer meio-ambiente e situação de operação.

Historicamente, uma das principais limitações das técnicas de monitoramento geodésico tem sido a dificuldade de obter medidas de forma automatizada, sendo então que estas se caracterizam por operações laboriosas, dependentes da habilidade do operador. (MIRANDA, 2012).

Ainda segundo Miranda (2012), um sistema automatizado de monitoramento pode contribuir com o aumento da acurácia e conseqüentemente propiciar uma maior confiabilidade nos resultados referentes aos pontos monitorados além de uma maior rapidez na coleta, processamento e análise.

Dentro da proposta desta pesquisa, no contexto do monitoramento geodésico e determinação de recalques, será dado um especial enfoque ao nivelamento

geométrico, com abordagens relativas ao método e ao instrumental utilizado, com ênfase especial ao nível digital.

## 2.3 NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

### 2.3.1 Aspectos Gerais

A determinação da cota/altitude de um ponto é uma atividade fundamental da engenharia. Projetos de redes de esgoto, de estradas, planejamento urbano, monitoramento de estruturas entre outros, são exemplos de aplicações que utilizam estas informações. A determinação do valor da cota/altitude está baseada em métodos que permitem obter o desnível entre pontos. (FAGGION *et al.*, 2007).

Estes métodos são denominados de nivelamento, com diferentes técnicas que permitem determinar os desníveis, com precisões que variam de alguns centímetros até submilímetro. A aplicação de cada um deles dependerá da finalidade do trabalho (FAGGION *et al.*, 2007).

Mesmo com o grande avanço nas técnicas de levantamento, com o uso de estações totais e receptores GNSS, o nivelamento ainda é a técnica mais precisa para a determinação de desníveis em levantamentos topográficos e geodésicos. Para a realização do nivelamento geométrico, o instrumento utilizado é o nível e, como acessórios, as Miras Graduadas. (BRUM, 2005).

Segundo a DSG (1975), nivelamento geométrico é a operação geodésica que tem por finalidade a medida do desnível entre dois pontos da superfície terrestre.

Gemael (1959) destaca que as operações de campo para a determinação do desnível entre dois pontos se resumem nas leituras das miras postadas sobre os referidos pontos. Estando o eixo óptico da luneta horizontalizado, sabe-se que a diferença de tais leituras proporciona o desnível procurado.

A FIGURA 4 mostra o esquema da técnica de nivelamento geométrico para determinação de desníveis entre pontos.

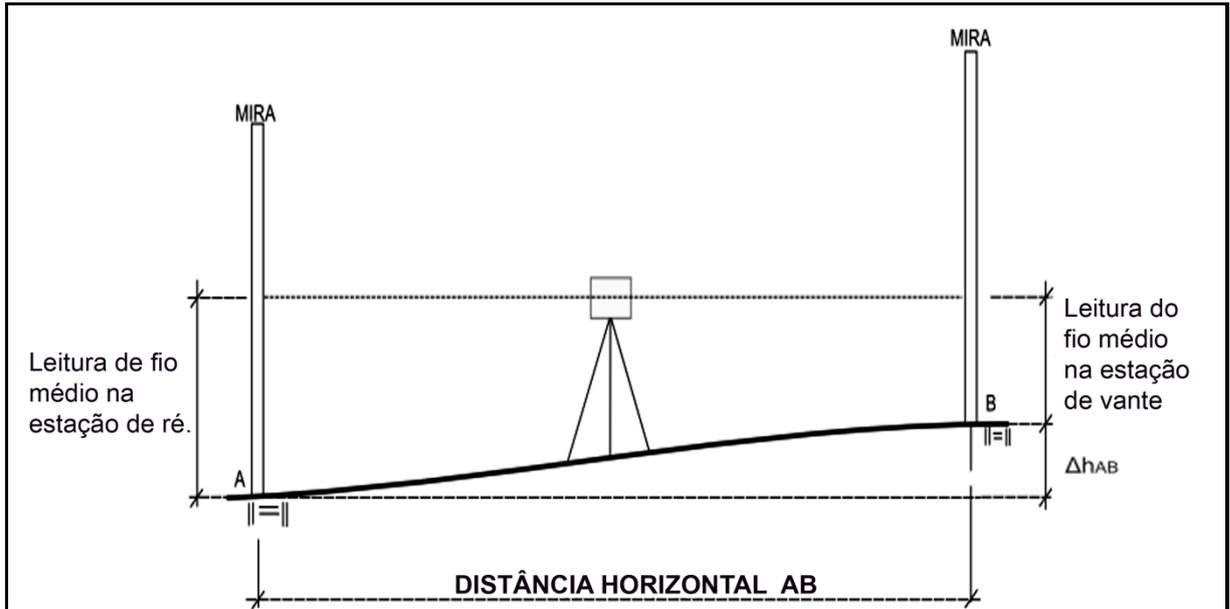


FIGURA 4- ESQUEMA DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO PARA DETERMINAÇÃO DE DESNÍVEIS ENTRE PONTOS.

FONTE: O AUTOR

$$\text{RÉ} = \Delta h_{AB} + \text{VANTE} \quad (5)$$

$$\Delta h_{AB} = \text{RÉ} - \text{VANTE} \quad (6)$$

Onde:

RÉ: Ponto com altitude ou cota conhecida e que servirá como referência para a determinação da altitude/cota dos demais pontos;

VANTE: Ponto(s) cuja altitude(s) ou cota(s) será (ão) determinado(s).

O nivelamento geométrico pode ser executado para fins geodésicos ou topográficos. A diferença entre ambos está na precisão, maior no caso do nivelamento para fins geodésicos, e no instrumental utilizado. (FAGGION *et al.*, 2007).

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em sua resolução-PR nº 22, de 21 de julho de 1983, trata das especificações gerais e normas para levantamentos geodésicos em território brasileiro. Esta resolução determina e delimita as precisões e características dos levantamentos geodésicos e topográficos. Com base nesta norma, tem-se a seguinte classificação quanto à finalidade dos levantamentos altimétricos (QUADRO 2):

LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS					
DE ALTA PRECISÃO ÂMBITONACIONAL		DE PRECISÃO ÂMBITO REGIONAL		PARA FINS TOPOGRÁFICOS	
FINALIDADE	CIENTÍFICO	FUNDAMENTAL (OU DE 1ª ORDEM)	PARA ÁREAS MAIS DESENVOLVIDAS (OU DE 2ª ORDEM)	PARA ÁREAS MENOS DESENVOLVIDAS (OU DE 3ª ORDEM)	LOCAL
	Dirigido ao atendimento de programas internacionais, de cunho científico, segundo normas específicas, acordadas caso a caso. Sua realização deverá se dar sem prejuízo do fundamental, que terá precedência	Pontos básicos para amarrações e controle de trabalhos geodésicos e cartográficos, desenvolvido segundo especificações internacionais, constituindo o sistema único de referência.	Dirigido ao atendimento das necessidades de uma região onde se desenvolvem atividades humanas intensas e, em consequência, existe uma valorização elevada do solo.	Dirigido às áreas remotas ou àquelas em que não se justifiquem investimentos imediatos e, sempre, em função da inexistência ou impossibilidade de se desenvolver levantamentos geodésicos de alta precisão.	Dirigido ao atendimento dos levantamentos no horizonte topográfico, prevalecendo os critérios de exatidão sobre as simplificações para a figura da Terra.

QUADRO 2- CLASSIFICAÇÃO DOS LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS SEGUNDO SUA FINALIDADE

FONTE: IBGE (1983)

O Quadro acima resume as finalidades gerais dos levantamentos, segundo as classes de levantamentos e o âmbito de sua aplicação.

O critério de maior relevância para a classificação, fora as finalidades, é a exatidão, que pode ser expressa (IBGE, 1983):

- na altimetria, pela qualidade do fechamento de um circuito ou linhas, formado por duplo nivelamento, conectando estações de altitudes conhecidas.

No que concerne aos levantamentos altimétricos, o IBGE determina a seguinte classificação (IBGE, 1983):

-Para levantamentos de 1º ordem, a exatidão deve ser melhor que  $2mm\sqrt{k}$ .

-Para levantamentos de 2º ordem, a exatidão deve ser melhor que  $3mm\sqrt{k}$ .

-Para levantamentos de 3º ordem, a exatidão deve ser melhor que  $4mm\sqrt{k}$ .

-Para levantamentos topográficos (locais), a exatidão deve ser melhor que  $6mm\sqrt{k}$ .

Sendo  $k$  a média do caminhamento percorrido do nivelamento e contra-nivelamento em quilômetros.

### 2.3.2 Nivelamento Geométrico por Visadas Extremas

O nivelamento geométrico é dividido em quatro métodos (FAGGION *et al.*, 2007):

- visadas iguais;
- visadas extremas;
- visadas recíprocas;
- visadas equidistantes.

Interessa para os fins desta dissertação, o método de nivelamento geométrico por visadas extremas, uma vez que esta técnica subsidiará a metodologia aplicada.

No método de visadas extremas determina-se o desnível ou a cota entre a posição do nível e da mira, através do conhecimento da altura do nível e da leitura da mira no ponto de interesse (FAGGION *et al.*, 2007). Este método é bastante aplicado na área de construção civil.

A grande vantagem deste método é o rendimento que ele apresenta. Uma vez instalado o nível na posição desejada, faz-se a varredura nos pontos escolhidos para a determinação das suas respectivas cotas. A FIGURA 5 ilustra o esquema do nivelamento geométrico por visadas extremas (FAGGION *et al.*, 2007):

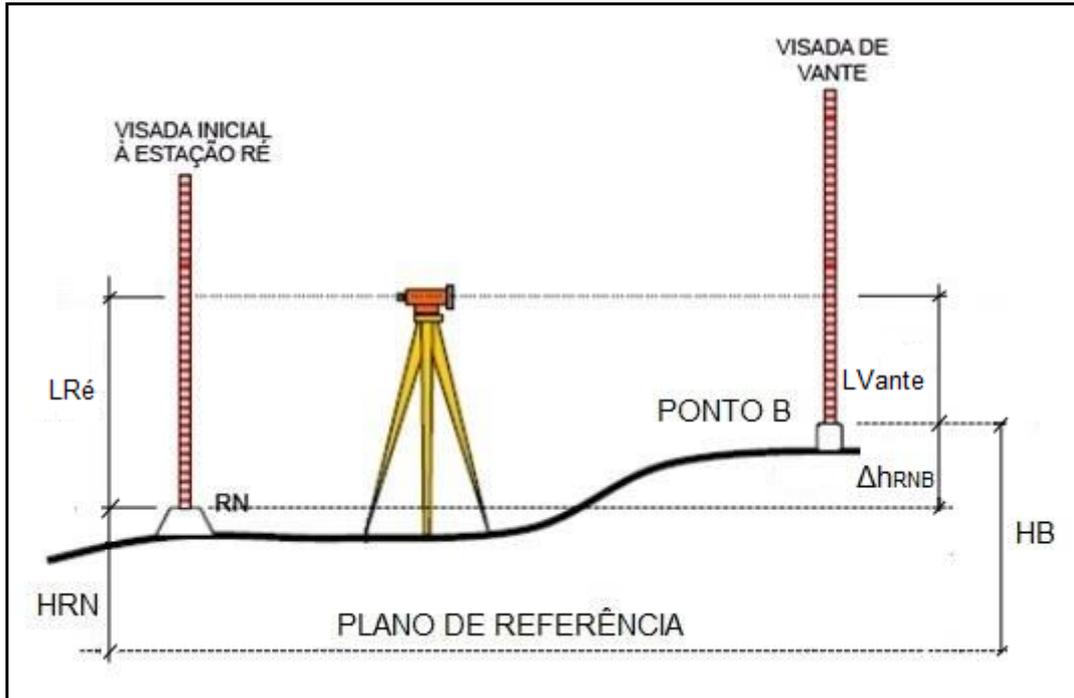


FIGURA 5- NIVELAMENTO GEOMÉTRICO POR VISADAS EXTREMAS

FONTE: FAGGION *et al.* (2007)

$$LRé = LVante + \Delta h_{RNB} \quad (7)$$

$$\Delta h_{RNB} = LRé - LVante \quad (8)$$

$$HB = HRN + \Delta h_{RNB} \quad (9)$$

Onde :

LVante : Leitura do fio nivelador (fio médio) na mira sobre o ponto a ser determinado (B);

LRé: Leitura do fio médio na mira posicionada sobre o ponto de ré(RN);

HRN: altitude da RN;

HB: altitude do ponto B;

$\Delta h_{RNB}$  = desnível entre a RN e o ponto B.

Este método tem como inconveniente a não eliminação dos erros de curvatura terrestre, refração atmosférica e colimação. Além destes, a necessidade de medição da altura do instrumento pode introduzir um erro no levantamento. Para evitar esta medida, faz-se uma visada de ré inicial sobre um ponto de cota conhecida

ou arbitrada (FIGURA 5), determinando-se assim a altura do instrumento no referencial desejado, sendo este último mais presente nas determinações topográficas (FAGGION *et al.*, 2007).

A FIGURA 6 ilustra o esquema de varredura do nivelamento geométrico por visadas extremas. N é o nível posicionado e M (M1, M2, M3...) são alvos a serem observados e M0 o ponto de referência onde se conhece a altitude ou cota.

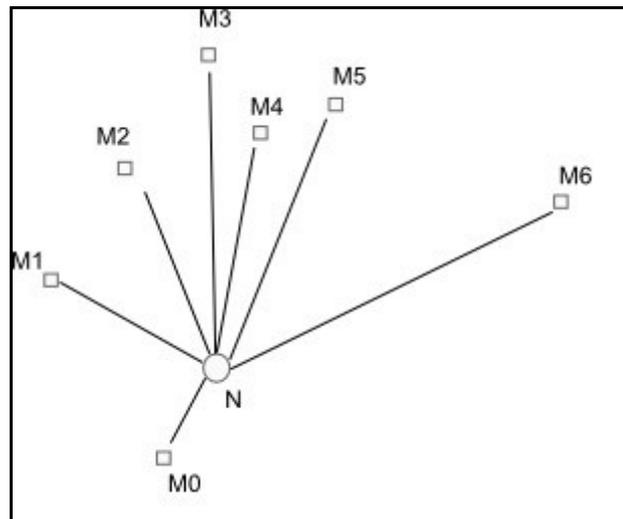


FIGURA 6- ESQUEMA DE UM NIVELAMENTO DE VISADAS EXTREMAS VISTO EM PLANTA.

FONTE: O AUTOR

Segundo Kahmen e Faig (1988), o nivelamento geométrico por visadas extremas tem seu uso nos levantamentos de lotes urbanos, rodovias, ferrovias, entre outros.

Ressalta-se aqui a importância de tomar-se o cuidado com a verificação do nível, a fim de eliminar os erros de verticalidade do eixo principal e o erro de colimação.

### 2.3.3 Níveis Topográficos/Geodésicos

Na sequencia far-se-á uma breve descrição dos tipos de níveis existentes e suas características, dando-se ênfase ao nível digital, uma vez que no escopo desta dissertação é este o equipamento objeto da automação proposta por ANDOLFATO (2010) em sua tese, a qual baseia esta dissertação.

Os níveis são equipamentos utilizados em levantamentos topográficos e geodésicos que permitem definir com precisão um plano horizontal ortogonal à vertical definida pelo eixo principal do equipamento.

De maneira geral os níveis são equipamentos destinados à determinação de desníveis entre dois ou mais pontos. Estes equipamentos consistem de uma luneta associada a um nível tubular de precisão (níveis ópticos mecânicos) ou uma luneta associada a um nível esférico, de baixa precisão, e um sistema de pêndulo que tem a função do nível de precisão nos níveis ópticos automáticos (FAGGION, 2011).

As principais partes de um nível são, (FAGGION *et al.*, 2007):

- Luneta;
- Nível de bolha;
- Sistemas de compensação;
- Dispositivos de calagem.

Na FIGURA 7, são ilustrados o três eixos principais de um nível, a saber: (FAGGION *et al.*, 2007).

- ZZ' = eixo principal ou de rotação do nível;
- OO' = eixo óptico/ linha de visada/ eixo de colimação;
- HH' = eixo do nível tubular.

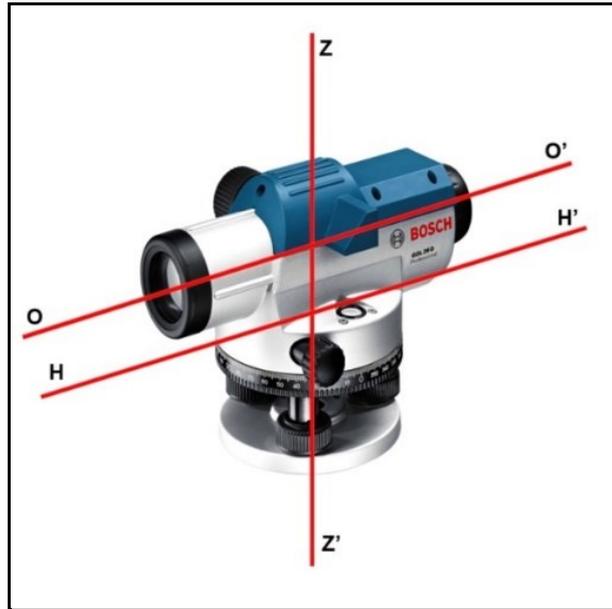


FIGURA 7- REPRESENTAÇÃO DOS EIXOS PRINCIPAIS DE UM NÍVEL.

FONTE: O AUTOR

Ainda segundo Faggion *et al.* (2007), são três as condições que devem ser satisfeitas, no que diz respeito aos três eixos principais, para uma correta utilização do nível em trabalhos de campo:

- O eixo ZZ' deve estar na vertical;
- HH' deve estar na horizontal e ortogonal ao eixo principal (ZZ');
- O eixo OO' deve ser paralelo ao eixo HH'.

Caso estas condições não ocorram, o nível deverá ser retificado.

### 2.3.3.1 Níveis ópticos

Os níveis utilizados em Topografia e Geodésia podem ser divididos em ópticos mecânicos onde a horizontalização do plano perpendicular a vertical é feita

através de níveis tubulares, e em níveis automáticos onde a horizontalização é realizada através de um sistema de pêndulos.

Os níveis automáticos ainda podem ser classificados em ópticos (as leituras são feitas pelo observador) e digitais (as leituras são realizadas por CCD).

Wolf e Guilani (2002), por sua vez, classificam os instrumentos utilizados em nivelamento geométrico em quatro categorias:

- Níveis de plano (*dumpy levels*);
- Níveis de linha (*tilting levels*);
- Níveis Automáticos (*automatic levels*);
- Níveis Digitais (*digital levels*).

Embora sejam diferentes, todos os níveis têm dois componentes comuns: uma luneta para criar uma linha de visada e permitir leituras em uma haste graduada (mira), e um sistema para orientar a linha de visada em um plano horizontal (GUILANI E WOLF 2002).

Para os níveis ópticos mecânicos, o nivelamento "fino" ou "calagem" do equipamento é realizado com o auxílio de níveis de bolha bipartida. Nos modelos automáticos a linha de visada é nivelada automaticamente, dentro de certo limite, utilizando-se um sistema compensador (pendular) (FAGGION, 2007).

A NBR13133/1994 traz a classificação para os níveis com relação à precisão, indicada na TABELA 1:

TABELA 1- CLASSIFICAÇÃO DOS NÍVEIS QUANTO A PRECISÃO

Classes de níveis	Desvio-padrão
Precisão baixa	$> \pm 10 \text{ mm/km}$
Precisão média	$\leq \pm 10 \text{ mm/km}$
Precisão alta	$\leq \pm 3 \text{ mm/km}$
Precisão muito alta	$\leq \pm 1 \text{ mm/km}$

FONTE: ABNT-NBR13133/1994

Juntamente com os níveis são utilizadas em operações de nivelamento geométrico as miras graduadas. Estas são réguas de madeira, alumínio ou PVC que possuem graduação centimétrica, milimétrica ou código de barras e são utilizadas na determinação de distancias horizontais e verticais entre pontos.

Segundo Kahmen e Faig (1988) as miras possuem de 3 a 5 metros de comprimento e 6 a 8 cm de largura. Elas ainda podem ser extensíveis ou dobráveis para facilitar o transporte das mesmas. A graduação da mira é dividida em seção centimétrica e algumas possuem numeração decimétrica. O ponto zero da graduação deve coincidir com a superfície de base da mira.

As miras (FIGURA 8) são graduadas em metros. Nas leituras com níveis ópticos e automáticos o valor do milímetro é estimado pelo observador. Ou ainda pode ser determinado pela leitura de um nível digital através de processamento de imagem. (DEPARTMENT OF THE ARMY, 2007).

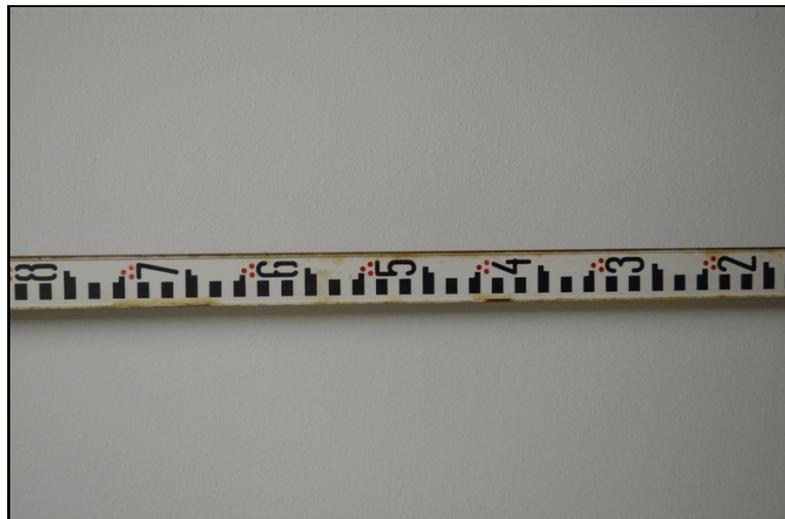


FIGURA 8- MIRA TOPOGRÁFICA

FONTE: O AUTOR

O nivelamento de precisão requer o uso de miras de invar (FIGURA 9) cujo coeficiente de dilatação térmica é baixo em função de sua constituição, como segue: 63,8% de aço, 36% de níquel e 0,2% de carbono (FAGGION, 1993).

Estas permitem a leitura do décimo do milímetro e a estimativa do centésimo do milímetro, desde que se utilize um nível geodésico.

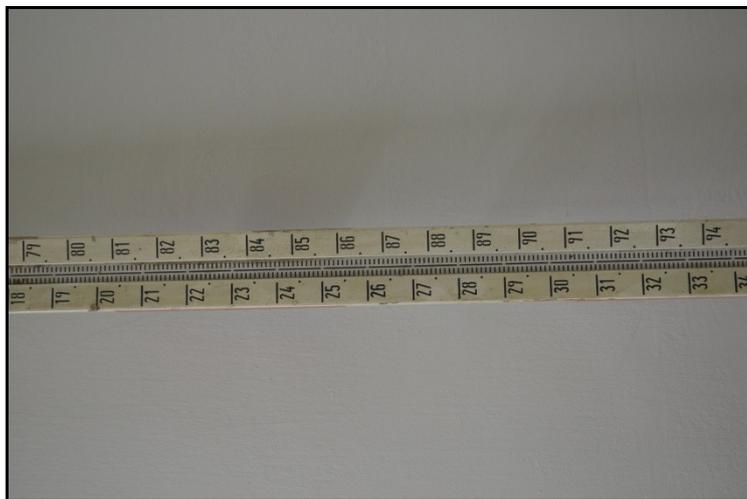


FIGURA 9- MIRA DE ÍNVAR

FONTE: O AUTOR

### 2.3.3.2 Níveis digitais

Os níveis digitais representam um avanço nas técnicas de nivelamento geométrico, pois utilizam o conceito inovador de leitura de miras com código de barras. Aksamitauskas *et al.* (2008) afirmam que quando se utiliza o nível digital em levantamentos, há uma redução de até 50% do tempo de trabalho. A FIGURA 10 dá uma ideia desta otimização.

As principais razões para esta economia de tempo são a rápida realização da leitura, a agilidade e segurança no processamento e a possibilidade de salvar/gravar estes dados em um dispositivo de armazenamento. Níveis digitais medem e gravam valores relativos à altura (do plano horizontal determinado pelo nível em relação a um plano de referência) e distância a uma determinada mira posicionada em um ponto apenas apertando um botão.

Outra vantagem destes equipamentos é que leituras ópticas não são requeridas, assim como não há necessidade de fazer anotações em cadernetas e

efetuar cálculos manualmente, embora a focalização da imagem ainda seja necessária. A FIGURA 10 ilustra a vantagem dos níveis digitais sobre seus predecessores:

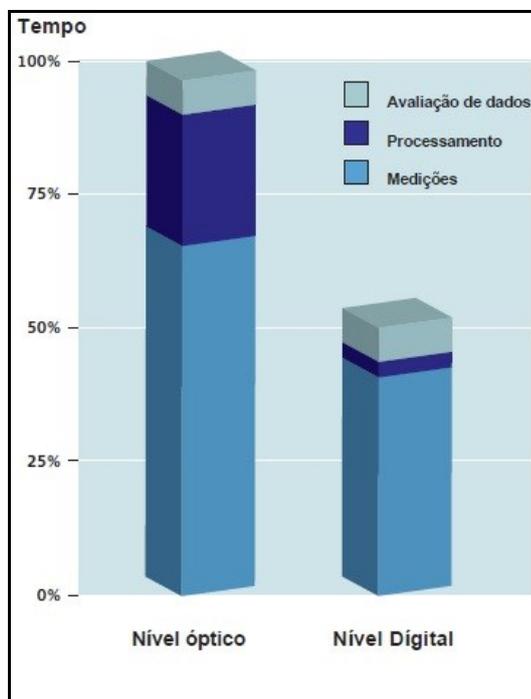


FIGURA 10- GRÁFICO ILUSTRATIVO COMPARATIVO ENTRE O NÍVEL DIGITAL E O NÍVEL ÓPTICO NO QUE DIZ RESPEITO À AGILIDADE DOS TRABALHOS DE CAMPO.

FONTE: ADAPTADO DE AKSAMITAUSKAS *et al.* (2008)

Department of Army (2007) reforça que os níveis digitais utilizam o processamento eletrônico de imagens para determinação de desníveis e distâncias, gravando os dados de leitura de forma automática para posteriormente transferir estes dados ao computador.

Veiga (2000) diz que os níveis digitais possuem os mesmos componentes ópticos mecânicos de um instrumento clássico, diferindo apenas na forma de leitura. Dois elementos distinguem o Nível Digital: a mira de código de barras ao invés da mira métrica e o CCD (*Charge-Compled Device*) para realizar as leituras. Estas se baseiam na decodificação de um código de barras existente na mira. A leitura destas miras é obtida pela avaliação da imagem da mira codificada pelo CCD.

Os níveis digitais podem ser considerados como uma fusão de uma câmera digital e de um nível automático. Estes tem uma luneta com imagem direta e um compensador para estabilizar o eixo de colimação. Adicionalmente, um sensor de posição acoplado com a lente focal fornece uma informação da distância (grosseira). Um sensor observa a posição do compensador e um divisor de feixe guia parte da luz ao CCD-sensor. (ANDOLFATO, 2010), (FIGURA 11).

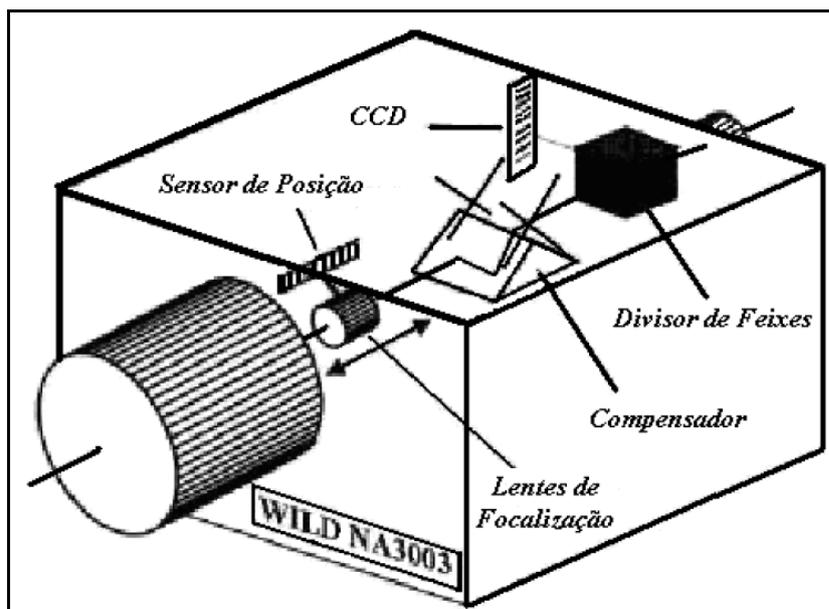


FIGURA 11- ESQUEMA DO NÍVEL DIGITAL

FONTE: ANDOLFATO (2010)

Uma vez calado o nível digital, faz-se a pontaria e focalização na mira (ou alvo) de interesse e efetua-se a medição. No momento da leitura um cálculo de correlação grosseira é realizado, seguida de um cálculo de correlação refinada. De acordo com os dados recebidos pelo processador interno do instrumento, a distância entre o nível e a mira é calculada. (AKSAMITAUSKAS *et al.*, 2008).

De acordo ainda com Aksamitauskas *et al.* (2008), uma imagem fotoelétrica matricial (imagem digital) é gerada no momento da leitura. Esta imagem será comparada a uma imagem da mira salva na memória do instrumento. O valor da altura da mira é determinado de acordo com a mudança (deslocamento) da imagem obtida no momento do disparo da leitura junto à imagem matricial da foto armazenada na memória do nível.

Andolfato (2010) discorre sobre o processo de medição digital (FIGURA 12) da seguinte maneira:

- Pontaria e focalização;
- Disparo da medição;
- Correlação grosseira;
- Correlação fina.

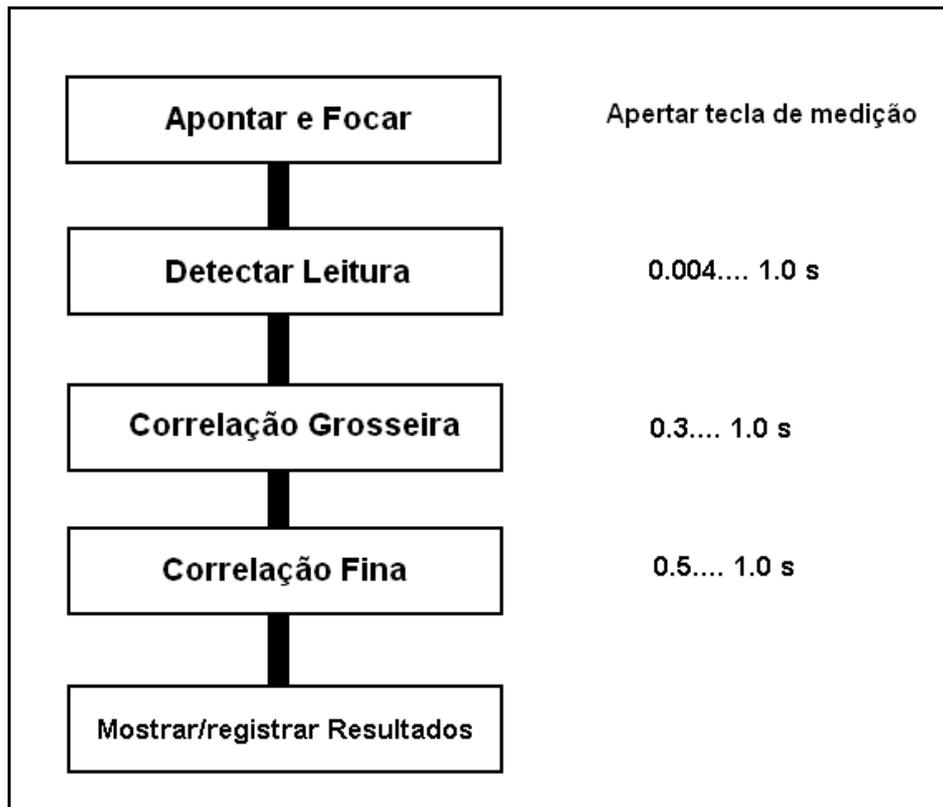


FIGURA 12- ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DO NÍVEL DIGITAL

FONTE: LEICA- INFORME TÉCNICO DOS NÍVEIS DIGITAIS NA 2002 E NA 3003

- Pontaria e focalização: É idêntico ao nivelamento convencional, ou seja, o observador aponta (faz a visada) para a mira e, em seguida, faz a focalização da imagem.

- Disparo da medição: Pressionando-se o botão de medição. O instrumento determina a posição da lente e ativa o controle do compensador. O tempo de integração, que depende da intensidade do sinal, é então determinado, depois que se analisa e armazena a imagem do código de barras.

- Correlação grosseira: Determina-se aproximadamente a altura e a escala da imagem, a distância derivada da posição do foco se utiliza como ponto de partida. Este processo demora aproximadamente 1 segundo.

- Correlação fina: Consiste em calcular a posição e a escala com uma correlação de 8 bits. Com o auxílio de constantes de calibração, o computador calcula a leitura final da mira e a distância baseada na posição exata e a escala da imagem do código no detector. O tempo requerido para a correlação fina depende da distância medida e da qualidade do sinal de medição, não superando 1 segundo.

Existe uma diversidade de níveis digitais no mercado atualmente. As FIGURAS 13, 14 , 15 e 16 ilustram alguns exemplos :



FIGURA 13- NÍVEL DIGITAL SOKKIA.

FONTE: SOKKIA,2015



FIGURA 14- NÍVEL DIGITAL DL-102 TOPCON.

FONTE: SANTIAGO E CINTRA, 2015



FIGURA 15- NÍVEL DIGITAL SPRINTER LEICA.

FONTE: LEICA, 2015



FIGURA 16- NÍVEL DIGITAL DNA 03 LEICA

FONTE: O AUTOR

As miras (FIGURA 17) utilizadas com estes equipamentos possuem códigos de barras, que são associadas a uma determinada graduação (submilimétrica), que são decodificadas pelo nível digital no instante da leitura através de uma associação (comparação) com a imagem da mira gravada no próprio instrumento. As miras podem ser de material convencional, como madeira, fiber-glass ou ínvar para trabalhos mais precisos (VEIGA, 2000).

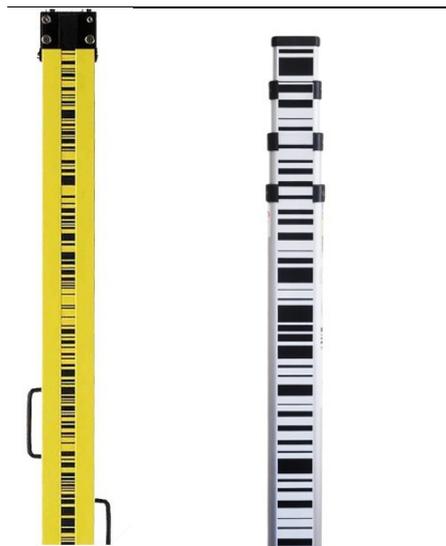


FIGURA 17- MIRA COM CÓDIGO DE BARRAS

FONTE: LEICA, 2015

O código da mira é binário, pois consiste unicamente de elementos brancos e pretos. Um elemento básico mede 2,025 mm. O código de barras completo abrange 2000 elementos sobre um comprimento de 4,050m, conforme informações técnicas do nível digital *Leica* (INGENSAND, 1999).

Diferentes técnicas de medição têm sido desenvolvidas com relação a códigos. Os algoritmos utilizados para cálculos da leitura da mira são (ANDOLFATO, 2010):

- Correlação;
- Média geométrica;
- Análise Fourier.

Na utilização destes equipamentos recomenda-se que a visada máxima seja de 50m para nivelamentos de primeira ordem, de 60 a 70m para levantamentos de segunda ordem e 90m para nivelamentos de terceira ordem, como indicado pela *Standards and Requirements for Levelling* (NOAA, 2004).

Segundo Radcliffe<sup>2</sup> (1999) apud Khalil (2007), os níveis digitais se sobressaem sobre os níveis clássicos devido à eliminação de erros de leituras, além de automatizar a coleta e o armazenamento dos dados.

Cabe salientar que os níveis digitais vêm com diferentes programas gravados em sua memória que permitem, por exemplo, realizar o cálculo de uma linha de nivelamento, fazer várias observações (leituras) num mesmo ponto e apresentar o valor médio e o desvio padrão, entre outros. O ideal é que o usuário verifique o manual para checar as funções disponíveis para cada equipamento (BRUM, 2005).

Takalo e Rouhiainen (2004), ressaltam as diferenças existentes entre o sistema de nivelamento digital e o nivelamento convencional:

- No nível digital as leituras da altura são processadas automaticamente aplicando técnicas eletro-ópticas, enquanto no nivelamento convencional as leituras são geradas pelo observador usando elementos ópticos dos

---

<sup>2</sup>RADCLIFFE, D. **Feature:** How digital levels work. *Professional Surveyor*, Volume 19, Number 5, June 1999.

instrumentos, por exemplo, sinal de luz, ocular, micrômetros, linha de nível, etc;

- No nível digital, a câmera CCD toma o lugar do olho humano e o processamento da leitura da altura do plano horizontal pelo nível digital emprega mais que uma linha de código, enquanto que no nivelamento convencional a leitura da altura é baseada na observação de uma linha de graduação;
- No nivelamento convencional a escala, realização da unidade de comprimento, por exemplo, metro, é baseada no comprimento da mira enquanto que no nivelamento digital pode-se considerar 2 escalas: uma escala dada pelo instrumento e outra pela mira. De fato, espera-se que a escala do nível seja igual a da escala da mira, mas com o tempo a escala do nível pode ser alterada, por exemplo, devido ao envelhecimento do sensor CCD. A leitura da altura do plano horizontal pelo nível digital pode ser sensível às influências de riscos dos elementos dos códigos ou sombras na fita de invar. Recomenda-se que o conjunto nível/mira passe por um processo de calibração a cada seis meses, pelo menos.

### 2.3.3.3 Nível digital DNA 03

O nível digital DNA03 é um equipamento destinado a levantamentos topográficos e geodésicos, desenvolvido pela *LEICA GEOSYSTEM*, que realiza mensurações verticais para determinação de desníveis, recalques, cotas, etc. O DNA03 faz parte da segunda geração de níveis digitais da *LEICA*. Estes níveis possibilitam armazenar informações, tais como: obra, linha, modo de medida, correções, ponto inicial, medidas, ponto alvo. Segue algumas especificações quanto à precisão do DNA 03:

- Precisão de 0,3mm/km (mira geodésica);
- Precisão de 1,0mm/km (mira convencional).

O elemento mais visível do DNA03 é o painel frontal, que acomoda uma tela de LCD de 8 linhas e um teclado com capacidades alfanuméricos completos. No lado esquerdo do nível está localizado o compartimento para o cartão PCMCIA. Existem dois parafusos de movimento micrométrico horizontal localizados no lado direito e no lado esquerdo do instrumento. O botão de medição se encontra no lado direito do nível.

O DNA03 utiliza um compensador baseado no modelo de seu predecessor, o NA3003. Devido às características não magnéticas de todas as partes que compõem o sistema de pêndulos, o campo magnético da Terra acaba não influenciando o seu compensador (SCHNEIDER e DIXON, 2002).

A imagem do alvo é capturada por um sensor CCD que é sensível ao espectro da luz e o formato dos dados do equipamento admite GSI-8, GSI-16, XML além de outros.

A FIGURA 18 ilustra o nível digital DNA 03, utilizado neste trabalho de pesquisa.

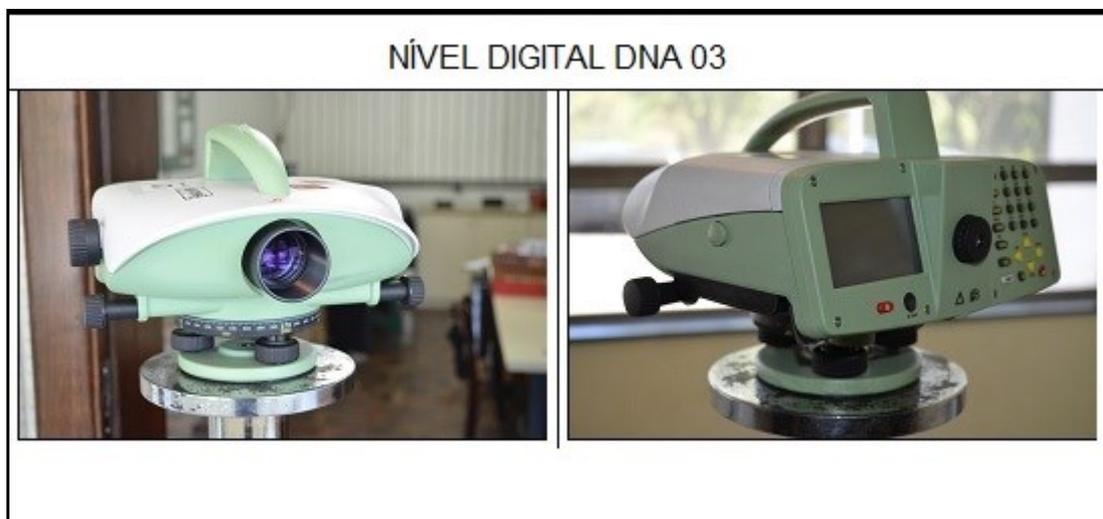


FIGURA 18- NÍVEL DIGITAL DNA03

FONTE: O AUTOR

### 2.3.4 Fontes de Erros no Nivelamento Geométrico: Método de Visadas extremas.

Segundo Gemael (1994), todas as observações são acompanhadas de erros de medida. Estes erros são atribuídos à:

- Falibilidade humana;
- Imperfeição do equipamento;
- Influência das condições ambientais.

A classificação tradicional apresenta estes erros como sendo de três tipos (GEMAEL,1994):

- Erros grosseiros: são erros que ocorrem na prática, causados por engano na medição. Estão relacionados com a desatenção do observador ou falha no equipamento. Como exemplo pode-se citar a inversão de dígitos numa leitura, uma contagem errônea do número de lances na medida de uma distância, entre outros. A repetição da leitura é uma forma de evitar erros grosseiros;
- Erros sistemáticos: São aqueles erros cuja magnitude e sinais algébricos podem ser determinados, seguindo leis matemáticas ou físicas. Pelo fato de serem produzidos por causas conhecidas podem ser evitados através de técnicas particulares de observação ou mesmo eliminados mediante a aplicação de fórmulas específicas. São erros que se acumulam ao longo do trabalho;
- Erros aleatórios ou acidentais: São aqueles que permanecem após os erros anteriores terem sido eliminados. São erros que não seguem nenhum tipo de lei e ora ocorrem num sentido ora noutro, tendendo a se neutralizar quando o número de observações é grande. Estes erros são tratados no ajustamento de observações.

Em monitoramento de estruturas, assim como para trabalhos topográficos e geodésicos em geral, onde se buscam medições de alta precisão, é importante que os equipamentos utilizados estejam em perfeitas condições de funcionamento, devidamente verificados, calibrados quando possível, e retificados se necessário.

Nos levantamentos Geodésicos/topográficos onde se faz uso da técnica de nivelamento geométrico, é importante verificar se as condições instrumentais dos equipamentos são apropriadas para seu uso em campo. Qualquer problema na instrumentação utilizada acarretará em erros que influenciarão nas observações e comprometerão a acuracidade dos resultados, prejudicando análises posteriores, causando prejuízos dos mais diversos.

Para os níveis, tanto ópticos quanto digitais, dois erros se destacam. São eles (FAGGION, 2011):

- Erro da verticalidade do eixo principal;
- Erro de colimação vertical do nível.

#### 2.3.4.1 Erro de verticalidade do eixo principal

Segundo Medeiros (1999), o erro de verticalidade do eixo principal acontece quando o eixo do nível tubular não está perfeitamente horizontalizado. Ou seja, o eixo principal (ou de rotação do nível) não está paralelo à direção do vetor gravidade no ponto em que o nível está instalado. Isto propicia um ângulo  $\alpha$  entre a direção do vetor gravidade e o eixo principal do instrumento (FIGURA 19).

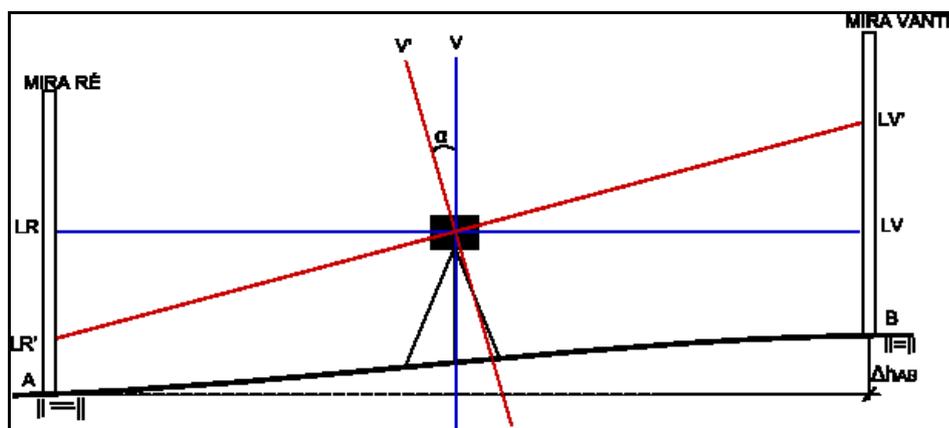


FIGURA 19- REPRESENTAÇÃO DO ERRO DE VERTICALIDADE DO EIXO PRINCIPAL

FONTE: FAGGION (2011)

LR é a leitura da mira de ré com o equipamento isento de erro;

LV é a leitura da mira de vante com o equipamento isento de erro;

LR' é a leitura da mira em ré com o equipamento apresentando o erro;

LV' é a leitura da mira em vante com o equipamento apresentando o erro;

$\Delta h_{AB}$  é o desnível entre os pontos A e B;

V é a representação do eixo principal de um equipamento retificado;

V' é a representação do eixo principal de um equipamento não retificado.

#### 2.3.4.2 Erro de colimação vertical do nível

Este erro é provocado pela falta de paralelismo entre a linha de visada e o eixo do nível tubular, no caso dos níveis mecânicos. Nos níveis automáticos é a falta de paralelismo entre a linha de visada e o plano formado pelo sistema de pêndulo. (FAGGION, 2011).

A influência deste erro está diretamente relacionada com o comprimento da linha de visada. Quanto maior é a visada, maior será o erro (FIGURA 20). O ângulo  $\theta$  representa a magnitude deste erro.

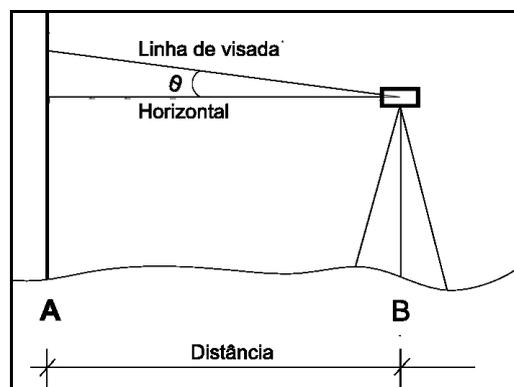


FIGURA 20- REPRESENTAÇÃO DO ERRO DE COLIMAÇÃO  
 FONTE: O AUTOR

### 2.3.5 Verificação da verticalidade do eixo principal:

A verificação da verticalidade do eixo principal é importante, pois nenhum procedimento de campo, na coleta de dados elimina este erro. (FAGGION, 2011).

Por construção, o eixo principal do equipamento é perpendicular ao plano horizontal definido pelos níveis do prato quando da calagem do mesmo. Caso estes níveis não estejam retificados, não definindo um plano horizontal, o eixo principal também não estará materializando a vertical do lugar. (FAGGION, 2011).

Para realizar a verificação da condição do eixo de verticalidade do eixo principal, realiza-se os seguintes passos:

- Instalar o nível sobre o tripé;
- Realizar a calagem;
- Com o nível calado, posicionar a bolha paralelamente a dois parafusos calantes;
- Dar um giro de 180° no instrumento em torno de seu eixo principal.

Uma vez que o nível esteja retificado, a bolha permanecerá centrada no círculo (FIGURA 21) conforme o equipamento vai sendo rotacionado em torno de seu eixo principal (vertical). Caso contrário, quando o equipamento não se encontra retificado, a bolha vai se deslocando para fora do círculo na medida em que o equipamento rotaciona (FIGURA 22).

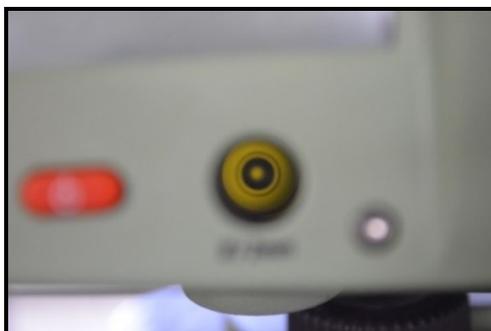


FIGURA 21- BOLHA CENTRADA NO CÍRCULO

FONTE: O AUTOR



FIGURA 22- BOLHA DESLOCADA PARA FORA DO CIRCULO  
FONTE: O AUTOR

Quando isso acontece, é necessário realizar a retificação do nível a fim de deixar o mesmo em condições ideais de operação sem prejuízo dos resultados de campo.

O processo de retificação corrige a metade do deslocamento da bolha com a utilização de parafusos calantes, paralelos a mesma, e a outra metade nos parafusos de retificação (FIGURA 24) com o auxílio de chaves de retificação (FIGURA 23).



FIGURA 23- CHAVE DE RETIFICAÇÃO (CHAVE ALLE)  
FONTE: O AUTOR



FIGURA 24- PARAFUSOS DE RETIFICAÇÃO

FONTE: O AUTOR

A FIGURA 25 ilustra o uso da chave alle (chave de retificação) no parafuso de retificação para realização da correção da metade do erro do nível de bolha



FIGURA 25- USO DA CHAVE ALLE NOS PARAFUSOS DE RETIFICAÇÃO

FONTE: O AUTOR

Após a realização deste procedimento, repete-se a calagem do nível e a verificação do mesmo. Caso a bolha do nível não fique centrada, o procedimento de retificação deverá ser repetido.

### 2.3.6 Métodos Para Verificação do erro de colimação

#### 2.3.6.1 Peg test

O método de Peg Test pode ser considerado relativamente simples, mas fornece uma maneira eficaz para testar a falta de paralelismo entre a linha de visada e o plano definido pelo nível tubular ou sistema de pêndulos.

Se o instrumento for posicionado exatamente equidistante entre dois alvos, A e B, como na FIGURA 26, o erro de colimação será o mesmo, não influenciando na acuracidade dos desníveis obtidos.

O procedimento de campo para a verificação deste erro consiste das seguintes etapas (FAGGION, 2011):

- a) Encontrar um terreno plano que permita lances de 60 metros;
- b) Posicionar as miras nos extremos da linha de visada e o nível no centro, ficando o mesmo a uma distância de aproximadamente 30 metros de cada mira (FIGURA 29);
- c) Realizar a calagem do nível;
- d) Determinar o desnível entre as miras ( $\Delta h_{AB}$ ) pelo método das visadas iguais.

Segundo Faggion (2011), neste caso  $\Delta h_{AB}$  estará isento de erro de colimação do nível, uma vez que este é proporcional à distância e neste caso elas são iguais.

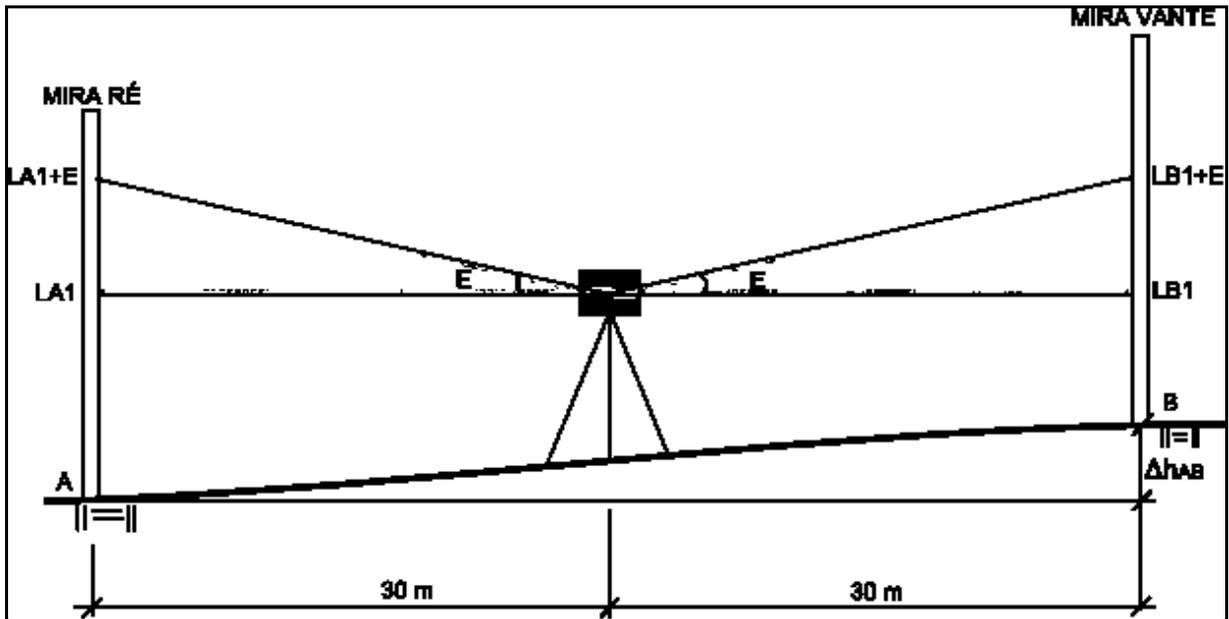


FIGURA 26- VISADAS IGUAIS NO MÉTODO PEG TEST

FONTE: O AUTOR

Onde:

**LA1 + E** - Leitura do fio nivelador na mira em A mais o erro de colimação;

**LA1** - Leitura do fio nivelador na mira em A sem o erro de colimação;

**LB1 + E** - Leitura do fio nivelador na mira em B mais o erro de colimação;

**LB1** - Leitura do fio nivelador na mira em B sem o erro de colimação;

**E** - Erro de colimação;

$\Delta h_{AB}$  = Desnível entre os pontos A e B (nível no centro do lance), método de visadas iguais.

$$\Delta h_{AB} = (LA1 + E) - (LB1 + E) \quad (10)$$

$$\Delta h_{AB} = LA1 + E - LB1 - E \quad (11)$$

Como o erro de colimação em Ré e em Vante, neste caso, são iguais, a equação 10 pode ser reescrita da seguinte maneira:

$$\Delta h_{AB} = LA1 - LB1 \quad (12)$$

De acordo com Faggion (2011) a etapa seguinte seria instalar e calar o nível em uma nova posição (mantendo as miras na mesma posição), aproximadamente a dois metros da mira de Ré, e determinar novamente o desnível  $\Delta h_{AB}$ , desta vez pelo método das visadas extremas (FIGURA 27).

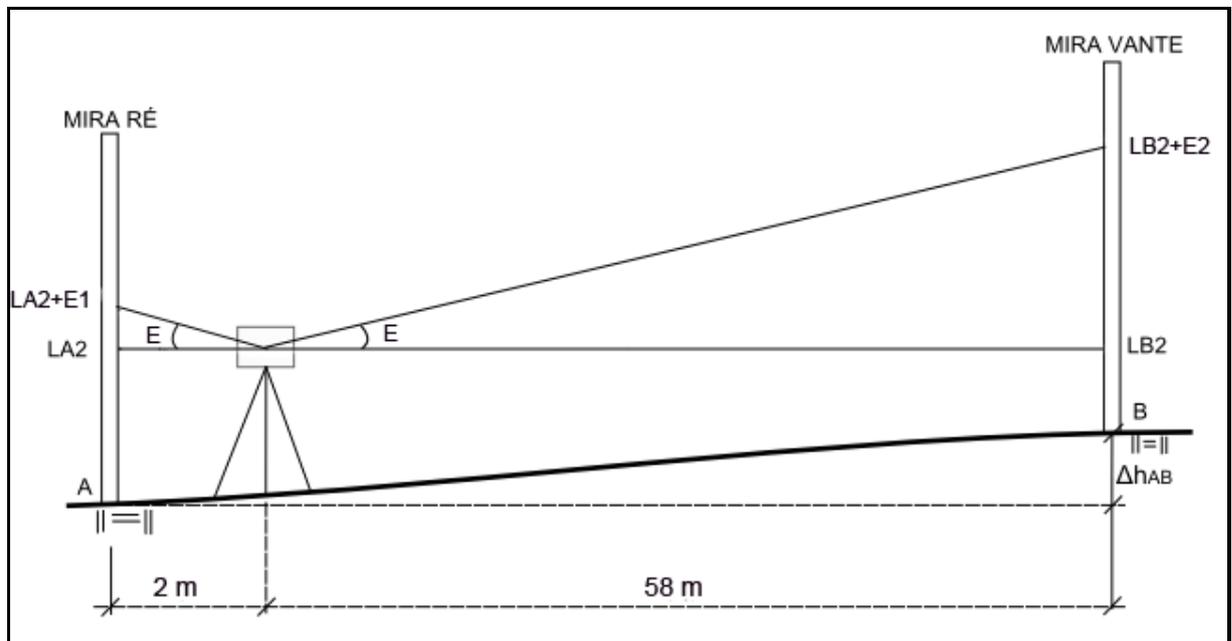


FIGURA 27- VISADAS EXTREMAS NO MÉTODO PEG TEST

FONTE: O AUTOR

Onde,

**$LA_2 + E_1$**  - Leitura do fio nivelador na mira em A mais o erro de colimação que neste caso é desprezível tendo em vista que a distancia nível mira é de apenas 2 metros;

**$LA_2$**  - Leitura do fio nivelador na mira em A sem o erro de colimação;

**$LB_2 + E_2$**  - Leitura do fio nivelador na mira em B mais o erro de colimação que neste caso é significativo tendo em vista que o nível está a 58m da mira em B;

**$LB_2$**  - Leitura do fio nivelador na mira em B sem o erro de colimação;

**$E$**  - Erro de colimação;

**$\Delta h_{AB}$**  - Desnível entre os pontos A e B (Nível deslocado do centro do lance), método das visadas extremas.

Neste caso os desníveis obtidos através das leituras não estão isentos do erro de colimação vertical do nível, provocado pela falta de paralelismo da linha de

visada e o eixo do nível tubular, tendo em vista que o nível está deslocado do centro do lance.

Sendo assim, o desnível entre os pontos A e B é determinado através das equações (FAGGION 2011):

$$\Delta h_{AB} = (LA_2 + E_1) - (LB_2 + E_2) \quad (13)$$

$$\Delta h_{AB} = LA_2 + E_1 - LB_2 - E_2 \quad (14)$$

Para verificar se o nível necessita de retificação, comparamos os desníveis obtidos no método das visadas iguais e método das visadas extremas. A diferença encontrada é tratada como erro cometido ( $E_c$ ):

$$E_c = \Delta h_{AB_{\text{extremas}}} - \Delta h_{AB_{\text{iguais}}} \quad (15)$$

O valor obtido para o erro cometido é comparado ao erro permitido ( $E_p$ ), que por sua vez é calculado através da seguinte equação:

$$E_p = 20\text{mm} * \sqrt{k} \quad (16)$$

Esta equação trata do erro de fechamento de um circuito ou lance, onde  $k$  é a média da distância nivelada e contra nivelada em quilômetros e o valor de 20mm é recomendado na norma da NBR 13133 da Associação Brasileira de normas técnicas (ABNT), para nivelamentos geométricos classe IIN (topográficos).

Se o erro cometido for menor do que o erro permitido ( $E_c \leq E_p$ ) não será necessário retificar o equipamento. Caso contrário ( $E_c \geq E_p$ ) o instrumento necessita de retificação.

De acordo com Faggion (2011), o procedimento de retificação se dá da seguinte maneira:

- O desnível  $\Delta h_{AB_{\text{iguais}}}$  foi determinado pelo método das visadas iguais, logo isento do erro em questão;
- $LA_2 + E_1$  é a Leitura feita na mira em Ré utilizando o método de visadas extremas. Como já foi visto, o erro de colimação vertical do nível é proporcional a distancia. Sendo esta observação realizada com o nível a dois metros da mira de ré, pode-se considerá-lo desprezível.

Utilizando o conceito de Nivelamento Geométrico a nova leitura será calculada através da seguinte relação:

$$NL=LA2- \Delta h_{ABiguais} \quad (17)$$

Sendo NL a nova leitura calculada para a mira de vante, que irá substituir a leitura LB2+E. A leitura LA2 não tem considerada nesta equação o erro de colimação tendo visto que a distância até a mira de Ré é de apenas 2 metros, o que torna E desprezível neste caso, uma vez que o erro de colimação é proporcional à distância.

Feito isto, deve-se atuar no sistema dos fios do retículo do equipamento até alcançar o valor obtido em NL para a leitura LB2+E.

#### 2.3.6.2 Método de Kukkamaki

Segundo Kahmem e Faig (1988), a distância de dois metros entre o nível e a mira, que consta do segundo passo do método peg test para verificação do eixo de colimação do nível, pode apresentar erros de leitura devido ao fato desta distância ser muito curta.

Faggion (2011) descreve que o método de Kukkamaki é uma adaptação ao método peg test. A metodologia de obtenção das leituras nas miras tanto no primeiro como no segundo passo permanece a mesma, mas com uma alteração em relação ao segundo passo. O nível neste caso fica a uma distância de 20 metros da ré e 40 metros da vante. (FIGURA 28)

Faggion (2011) ainda contempla outra diferença que distingue o método de Kukkamaki do método de peg test. Esta diferença se daria no segundo passo de ambos os métodos, ou seja, enquanto no método de peg test o nível estaria entre as miras de ré e vante, no método de Kukkamaki, o nível não estará posicionado entre as miras.

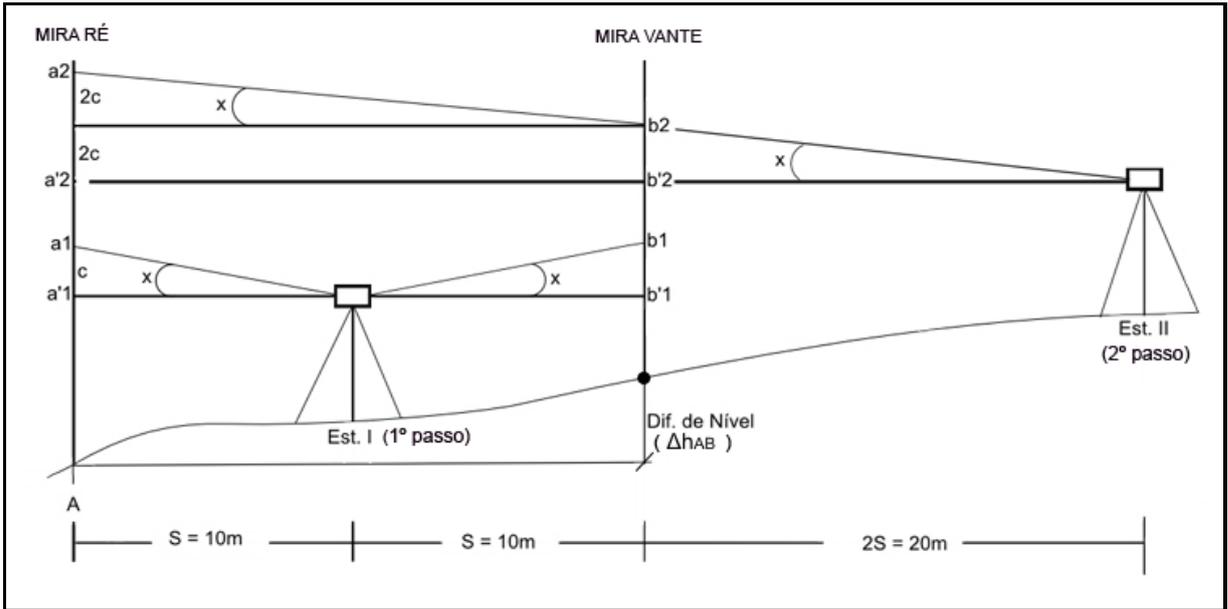


FIGURA 28- ILUSTRAÇÃO DO MÉTODO DE KUKKAMAKI

FONTE: ADAPTADO DE KAHMEN E FAIG, 1988.

O procedimento para a verificação do erro de colimação vertical de níveis utilizando esta metodologia, segundo Faggion (2011), consta dos seguintes passos:

- No primeiro passo instala-se o nível entre os dois pontos A e B, com distancia de 10m para ré e vante (método de visadas iguais) e procede-se a leitura. Estas conterão o erro de colimação vertical do nível igual, por estarem a distâncias iguais, representado por ;

- No segundo passo instala-se o nível a 20m de B e 40m de A, e procede-se a leitura, pelo método das visadas extremas. Neste caso, as leituras obtidas conterão erros proporcionais a distancia da mira. A leitura  $a_2$  será equivalente a  $4c$  e a leitura  $b_2$  a  $2c$ . Com isto pode-se determinar o valor do erro  $c$ :

$$a_2 = \Delta h_{A,B} + b_2 + 2c = a_1 - b_1 + b_2 + 2c \quad (18)$$

Ou

$$2c = (a_2 - b_2) - (a_1 - b_1) \quad (19)$$

Conseqüentemente, constatado o erro, deve-se atuar no sistema dos fios de retículo do aparelho, alterando sua posição de tal maneira que as seguintes leituras sejam obtidas:

$$a'_2 = a_2 - 4c \quad (20)$$

$$b'_2 = b_2 - 2c \quad (21)$$

Realizando-se uma última verificação, os seguintes valores devem ser obtidos:

$$\Delta h_{A,B} = a'_2 - b'_2 = a_1 - b_1 \quad (22)$$

## 2.4 AUTOMAÇÃO

### 2.4.1 Aspectos Gerais

A Revolução Industrial estabeleceu um marco transitório de uma sociedade predominantemente agrícola e organizada na produção de bens de consumo de forma artesanal, para uma sociedade industrial, mais produtiva, voltada ao consumo e organizada dentro de um novo modelo econômico de sucesso financeiro, associados às novas técnicas contábeis e ao mercado de capitais. Uma qualidade de vida e o surgimento de novas frentes de trabalho juntamente com as diferenças sociais cada vez mais acentuadas (SILVEIRA e SANTOS, 1998).

Esse fato foi um salto qualitativo e tecnológico observado mundialmente de forma irreversível e crescente. As diversas descobertas, em conjunto com a

mecanização, também fortaleceram essa mudança, plantando as sementes da automação (SELEME e SELEME, 2011).

Moraes e Castrucci (2007) definem automação como qualquer sistema apoiado em computadores, que substitua o trabalho humano em favor da segurança das pessoas, da qualidade dos produtos, da rapidez da produção e da redução de custos, aperfeiçoando assim os objetivos das indústrias e dos serviços.

Segundo Silveira e Santos (1998), o controle do homem sobre os processos de produção e serviços assume um papel primordial no desenvolvimento da humanidade como um todo.

Para Tzafestas e Verbruggen (1995) controle é ciência e tecnologia de *feedback* e automação é a disciplina de automatizar a operação dos processos tecnológicos.

Silveira E Santos (1998) salientam a existência dos termos automação e automatização e explicam suas diferenças:

- **Automatização** está ligada à sugestão de movimento automático, repetitivo, mecânico e é sinônimo de mecanização, ou seja, reprodução;
- **Automação** é um conceito e um conjunto de técnicas por meio das quais se constroem sistemas ativos capazes de atuar com ótima eficiência pelo uso de informações recebidas do meio sobre o qual atuam.

Na automação, prevê-se o uso dos mesmos conceitos associados à automatização. Porém, o nível de flexibilidade imputado ao sistema é bem mais elevado por estar associado indissolavelmente ao conceito de software. Tal recurso provê, a um sistema dotado de automação, a possibilidade de ser alterado todo o comportamento automatizado, a fim de, intencionalmente, produzir-se uma gama diferenciada de resultados.

Os sistemas automáticos surgiram no início do século XX. Os dispositivos automáticos foram inventados em função da necessidade de aumento da produção. (SELEME e SELEME, 2011).

A automação é uma área de pesquisa que vem ampliando sua atuação gradativamente nos últimos anos. O uso de dispositivos e a aplicação de soluções desenvolvidas em automação tem grande repercussão sobre tudo no setor industrial. As aplicações não se resumem a substituir o trabalho humano em tarefas exaustivas, monótonas e perigosas; elas trazem melhoria na qualidade de processos, otimização dos espaços, redução no tempo de produção e custos. (PAREDE E GOMES, 2011).

Para Souza (2010)<sup>3</sup> apud Andolfato (2010), a automação compreende o uso de controle de sistemas, comando numérico computadorizado (CNC), controladores lógicos programáveis (CLP) e informática (CAD, CAM) para controlar maquinaria industrial e processos industriais, reduzindo a necessidade de intervenção humana.

Seleme e Seleme (2011) definem CNC (Comando Numérico Computadorizado) como uma técnica que utiliza uma série de números, letras ou símbolos, que quando codificados podem transmitir instruções para as máquinas que realizam tarefas.

O CLP (Controlador Lógico Programável) surgiu no final da década de 1960 e revolucionou os comandos e controles industriais, sendo um dos mais importantes equipamentos utilizados em automação industrial (PAREDE E GOMES, 2011).

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), CLP é um equipamento eletrônico digital com *hardware* e *software* compatíveis com aplicações industriais.

Simultaneamente às máquinas de controle numérico, foram desenvolvidos os robôs, palavra esta, derivada do inglês *Robot*, que possui sua origem na palavra tcheca *robot*, que significa “servidão ou trabalhador forçado”. Parte integrante da automação, a robótica se tornou uma das suas áreas mais fascinantes. (SILVEIRA e SANTOS, 1998).

A robótica pertence ao tipo de automação programável que possui características de adaptabilidade ao produto ou serviço, ou seja, torna o processo

---

<sup>3</sup> SOUZA, F. de. **Robótica: ciência e tecnologia**. Disponível em: [webx.ubi.pt/~felippe/texts5/robotica\\_cap2.pdf](http://webx.ubi.pt/~felippe/texts5/robotica_cap2.pdf)

capaz de ser reprogramado quando as especificações técnicas de fabricação de algum artefato ou a rotina de alguma tarefa sofrem qualquer tipo de automação. (SILVEIRA e SANTOS, 1998).

Segundo Groover (1987) existem cinco elementos que compõem a automação, sendo eles:

- **Acionamento:** fornece energia ao sistema de automação para realizar ou atingir determinado resultado;
- **Sensoriamento:** realiza as métricas de desempenho do sistema de automação ou uma propriedade particular de algum de seus componentes;
- **Controle:** regula o acionamento do sistema através da informação gerada pelos sensores;
- **Comparador ou elemento de precisão:** realiza a comparação de valores medidos com valores preestabelecidos e toma a decisão de quando atuar no sistema;
- **Programas:** contém informações de processo e permitem controlar as interações entre os diversos componentes.

Groover (1987) ainda destaca aspectos do impacto da automação sobre a sociedade, considerando questões benéficas que a automação trouxe para a qualidade de vida das pessoas e questões prejudiciais e preocupantes.

Quanto aos aspectos negativos, Groover (1987) ressalta:

- A automação pode levar a substituição do homem pela máquina, implicando em desemprego ou reciclagem/aperfeiçoamento dos funcionários para recolocação no mercado de trabalho;
- Tendência à redução na necessidade da mão de obra, resultando no aumento do desemprego, gerando um grave problema social.

Quanto aos aspectos positivos, Groover (1987) considera:

- A automação permite condições mais seguras no trabalho;
- A produção automatizada resulta na melhoria da qualidade dos produtos e na redução dos preços;

- O crescimento da indústria da automação permite melhores oportunidades de emprego em diversos setores, como por exemplo, na indústria da informática.

#### 2.4.2 Automação na Instrumentação Geodésica

Veiga (2006) aborda que um levantamento topográfico pode conduzir a aquisição/medição de uma grande quantidade de pontos, que deverão ser observados, registrados, processados para posterior utilização na elaboração de cartas topográficas. O grande volume de dados que deve ser trabalhado tem sido um dos principais impulsionadores da automação topográfica.

Na topografia a automação está presente em diferentes estágios do trabalho, sendo que o grau de automação de cada um é variável. US Army Corps of Engineers (2002), na abordagem da automação de um sistema para a coleta de dados voltados ao monitoramento de estruturas, diz que o envolvimento humano na automação pode ser total, no caso de um sistema totalmente manual, até virtualmente nenhum, num sistema totalmente automatizado, sendo que nenhum destes extremos é prático.

As medições podem ser feitas com equipamentos eletrônicos, como estações totais e níveis digitais, que utilizam uma eletrônica bastante desenvolvida para a quantificação das grandezas a serem medidas (VEIGA, 2000). Ainda segundo o autor, os cálculos são efetuados por programas ou sistemas que dispõem de diversos aplicativos, que automatizam as tarefas de cálculo (cálculo de coordenadas, ajustes, etc.) e desenho (curvas de nível, etc.).

De acordo com Kennie (1991)<sup>4</sup> apud Veiga (2000) os avanços no desenvolvimento da microeletrônica e a inclusão de microprocessadores nos instrumentos, permitiram a adoção de procedimentos observacionais aparentemente menos rigorosos, sem reduzir a acuracidade da observação.

---

<sup>4</sup> KENNIE, T. J. M. **Field data collection for terrain modelling**. In: KENNIE, T. J. M.; PETRIE, G, ed. Terrain modelling in surveying and civil engineering. New York: McGraw-Hill, 1991

Fialovszky (1991)<sup>5</sup> apud Veiga (2006) diz que do ponto de vista da automação dos trabalhos de campo, três fases principais podem ser identificadas após o equipamento estar perfeitamente posicionado sobre o ponto: pontaria, leitura e registro dos dados. Ainda segundo o autor, as duas últimas fases já estariam automatizadas.

Segundo Veiga (2000), já se encontravam no mercado equipamentos que realizavam o rastreamento e a detecção automática de seus alvos, em conjunção com servo-motores e dispositivos para a identificação dos alvos, já não necessitando da intervenção do operador para o refino da pontaria.

Segundo US Army Corps of Engineers (2002), existem algumas vantagens e desvantagens que a automação apresenta. Dentre as vantagens, se destacam:

- Custos reduzidos;
- Repetibilidade das leituras;
- Leitura de alvos em locais de difícil acesso;
- Precisão;
- Armazenamento dos dados de forma eletrônica.

Os problemas destacados pelo US Army Corps of Engineers (2002), seriam:

- Alto custo de manutenção;
- Necessidade de uma fonte de energia confiável e contínua.

Outros avanços implicam em mudanças na forma de organizar e pensar o levantamento topográfico. Atualmente já é possível realizar um levantamento topográfico apenas com uma pessoa, empregando-se estações totais robotizadas operadas por sistemas de controle remoto (VEIGA, 2006).

Uma das consequências diretas desta nova forma de pensar o levantamento de campo é que não basta ser um prático para realizar as coletas de dados. Agora

---

<sup>5</sup> FIALOVSKY, L. **Surveying instruments and their operational principles**. New York: Elsevier, 1991. 738p.

durante esta etapa é necessário também saber gerenciar as informações, trabalhar com equipamentos com recursos diversos e entender a lógica que está por trás de todo o processo de automação, para poder tomar as ações adequadas a cada demanda que o sistema lhe fizer (VEIGA, 2000).

Desta maneira pode-se dizer que a automação trata de um sistema onde os mecanismos envolvidos verificam seu próprio funcionamento, realizando medições, com as devidas correções, quando necessário. Automatizar uma atividade pode ser necessário quando se tem um risco envolvido e não se deseja a presença de um operador ou executor da tarefa no local, ou ainda quando se trata de tarefa repetitiva, para a qual uma máquina serve com melhor desempenho que um operador (ANDOLFATO, 2010).

#### 2.4.3 Automação de Nível Digital: Estado da Arte

O avanço da automação na Geodésia trouxe inúmeros benefícios tanto no campo quanto no escritório. A combinação do instrumental geodésico com processadores microeletrônicos e a robótica deram uma maior celeridade e confiabilidade nos levantamentos de campo e nos cálculos de coordenadas, corte e aterro, desníveis entre outros. Embora uma parte significativa desta automação tenha atingido as estações totais, já existem pesquisas voltadas ao desenvolvimento da automatização para níveis digitais e alguns sistemas já estão disponíveis comercialmente. Na sequência, alguns destes sistemas são apresentados.

##### 2.4.3.1 Nível Digital Motorizado

Pellegrinelli *et al.*(2013) desenvolveram um sistema de automação para o nível digital DNA 03 para permitir o monitoramento automático e contínuo de deformações em estruturas sem comprometer seu uso manual no nivelamento. Este sistema foi concebido através de um mecanismo avançado com base em micro

motores elétricos e codificadores acoplados com o objetivo de estabilizar o movimento de rotação do nível e a repetibilidade da pontaria nos alvos (miras). Além disso, foi desenvolvida uma placa eletrônica externa com *firmware* que comanda o nível e o sistema de movimento e também um software com interface gráfica amigável, instalável em um PC, para gerenciamento do nível e das leituras. A FIGURA 29 ilustra este sistema com seus principais componentes:

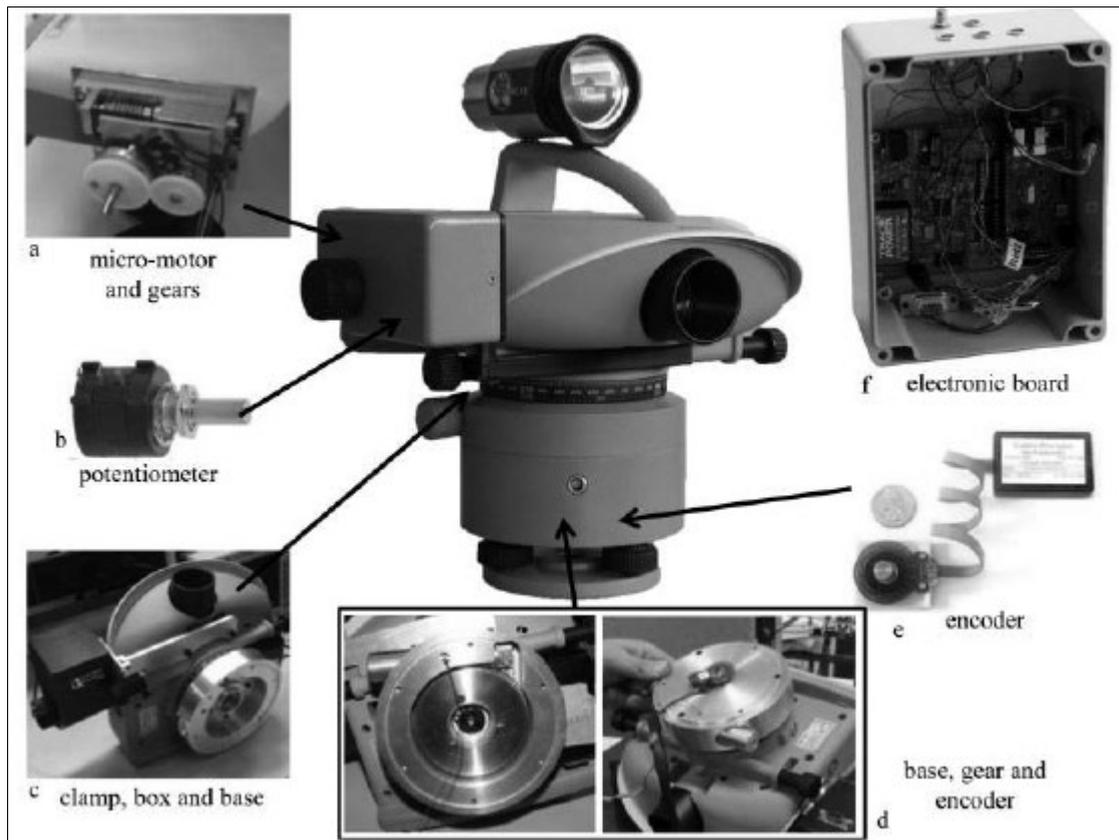


FIGURA 29- NÍVEL DIGITAL MOTORIZADO

FONTE: PELLEGRINELLI *et al.*, 2013

#### 2.4.3.2 Nível digital motorizado - ANGERER E CPS

As empresas Angerer e Cps desenvolveram um sistema de automação de nível digital o qual é montado em um dispositivo (mesa) de rotação que é ligada a um motor de passo. Há um segundo motor de passo que opera o mecanismo de

focalização da imagem do alvo ou mira. Ambos os motores de passo são controlados por uma unidade de controle inteligente ligada a um computador.

Todos os níveis digitais disponíveis comercialmente podem ser alimentados por este tipo de unidade motorizada. Precisões de até 0,2 mm podem ser alcançadas, dependendo das condições do levantamento. Foi desenvolvido um software com interface amigável que armazena os dados medidos, processa esses dados em tempo real e os exibe graficamente, permitindo que os pontos observados sejam monitorados online. A FIGURA 30 ilustra este sistema:



FIGURA 30- SISTEMA DE NÍVEL DIGITAL MOTORIZADO

FONTE: ANGERER

2.4.3.3 Sistema de movimento controlado para níveis digitais Leica e Zeiss – Soloexperts

A empresa Soloexperts desenvolveu um sistema de controle de movimento para níveis digitais da Leica e da Zeiss que permite a total automação dos mesmos, controlando a operação (medição) do instrumento pelo computador através de um software (soloexperts GeoMonitor) para o gerenciamento das informações obtidas nos levantamentos, permitindo um monitoramento mais eficiente. O software envia comandos ao sistema para detectar miras (cujas distâncias variam no intervalo entre 2 e 40 metros) com códigos de barras e ajustar o foco da imagem das mesmas, realizar múltiplas medições e enviar os dados obtidos ao PC. Este sistema de automação (FIGURA 31) possui uma lanterna acoplada acima do nível para iluminação de alvos em ambientes com pouca ou nenhuma luminosidade.



FIGURA 31- SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DE NÍVEL

FONTE: SOLOEXPERTS

## 2.5 SAND (Sistema de Automação de Nível Digital)

O Sistema de automação de Nível Digital (SAND) é um sistema semi-automático desenvolvido para o nível DNA 03 da Leica Geosystem que possibilita a automatização do movimento horizontal do nível e do movimento de focalização da

imagem para realização de leituras em miras com códigos de barras (ANDOLFATO, 2010).

A sua natureza semiautomática se dá pela necessidade de alimentar, num primeiro momento e de forma manual, o sistema com informações referente ao número de passos tanto para o movimento horizontal, que irá efetuar a pontaria nos alvos, quanto para o sistema de ajuste de foco, que possibilitará o reconhecimento do alvo pelo nível digital.

O SAND possui basicamente duas componentes que formam sua base operacional: o *hardware* e o *software*.

O componente *hardware* é composto pelos seguintes elementos eletromecânicos:

- Motores de passo;
- Dispositivo de adaptação de motores de passo(DAMP);
- Driver de potência;
- Placa microcontroladora para comando de motores de passo (PMCMP).

O motor de passo é um transdutor que converte energia elétrica em movimento controlado através de pulsos, o que possibilita o deslocamento por passo, onde o passo é o menor deslocamento angular (LEITE *et al.*, 2003). Mais detalhes podem ser encontrados em ANDOLFATO, (2010).

O SAND possui dois motores de passos acoplados em sua estrutura (FIGURA 32), sendo um responsável pelo movimento micrométrico horizontal do nível digital, possibilitando a pontaria nos alvos de interesse já previamente estabelecidos e o outro atuando no sistema de focalização do alvo ou mira.



FIGURA 32- MOTORES DE PASSO ACOPLADOS NO DAMP  
FONTE: O AUTOR

O DAMP (FIGURA 33) consiste de uma plataforma desenvolvida de modo a suportar os motores de passo e também o nível digital. Este dispositivo possui um braço eletromecânico que realizará o movimento horizontal do nível. O movimento de ajuste do foco ocorre através de um sistema de polias/engrenagens na base do dispositivo. Estes movimentos são comandados por um software específico, no caso o SAMN (Software para Automação do Nível).

Como parte integrante do DAMP, destacam-se sua base de sustentação, onde se apoiam o braço eletromecânico e o nível digital, e o próprio braço eletromecânico, que fará a função de rotacionar o nível horizontalmente (devidamente impulsionado pelo motor de passo), tanto no sentido horário quanto no sentido anti-horário, possibilitando uma ampla varredura de alvos que estejam distribuídos ao redor do nível. Destaca-se ainda o sistema polia/engrenagem, com o uso de um anel de borracha, que será utilizado no ajuste do botão de foco do nível digital (FIGURA 34).

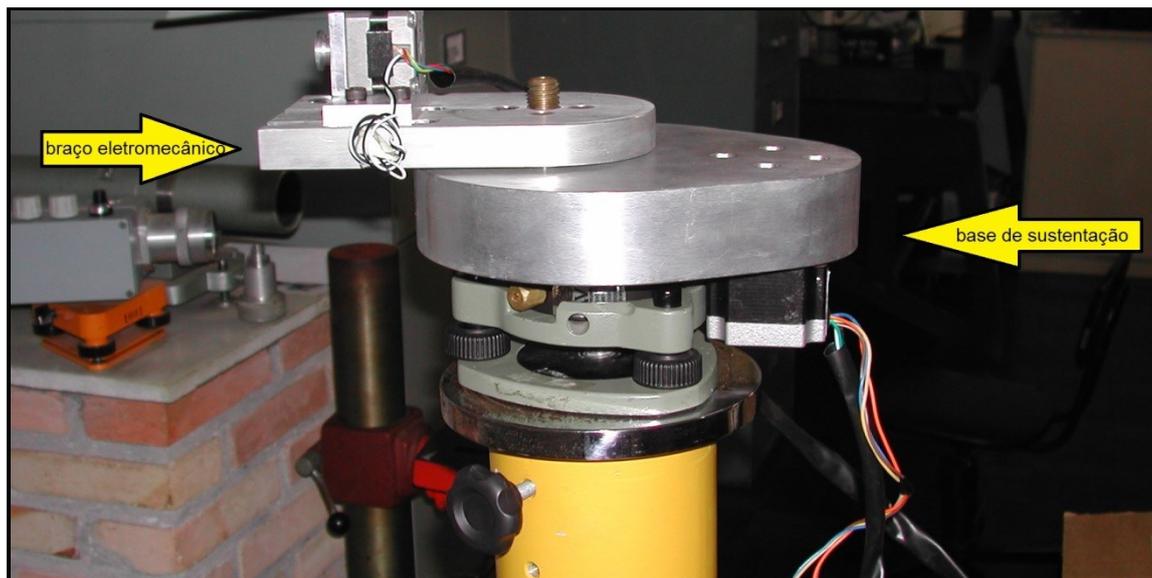


FIGURA 33- PARTES COMPONENTES DO DAMP  
FONTE:O AUTOR

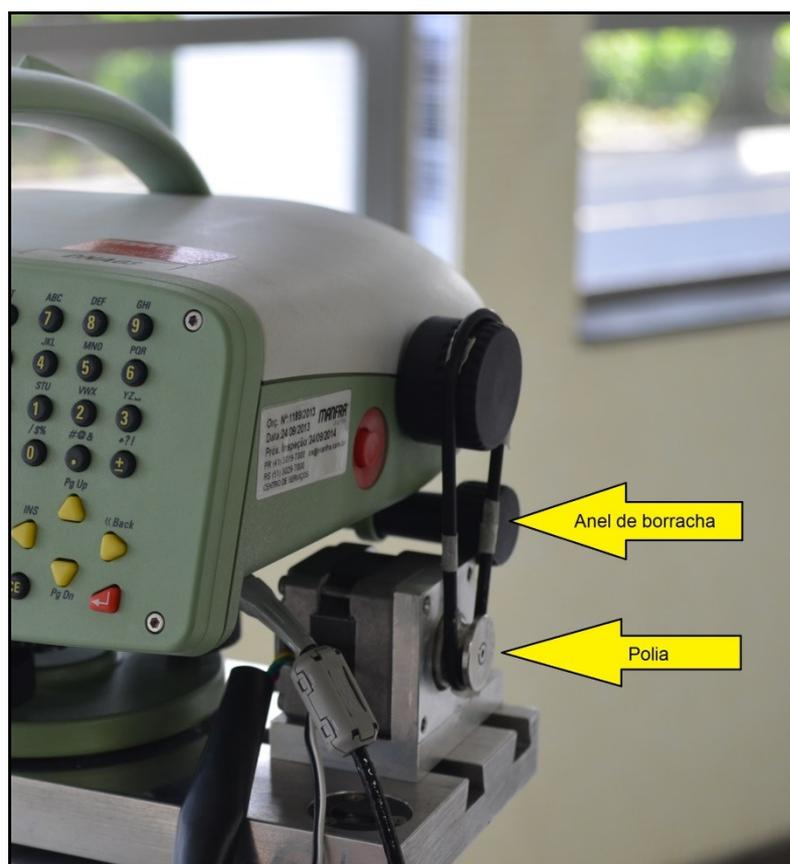


FIGURA 34- ANEL DE BORRACHA E POLIA  
FONTE: O AUTOR

O driver de potência é um bloco de potência, parte integrante de um motor de passo responsável pelo chaveamento das correntes de fase. O bloco de potência visa basicamente servir de interface entre os sinais de controle de baixa potência e os enrolamentos do motor que exigem, normalmente, sinais de alta potência.

Os microcontroladores são computadores digitais que realizam operações em sequência sem intervenção humana. As operações são programadas por um programador, que segue uma lista de instruções que compõe a linguagem de programação, geralmente Assembly, C, Java (ANGNES, 2003). São estes microcontroladores, auxiliados por um *software*, que ativarão o funcionamento dos motores de passo.

A FIGURA 35 ilustra os componentes de *hardware* que compõem o SAND

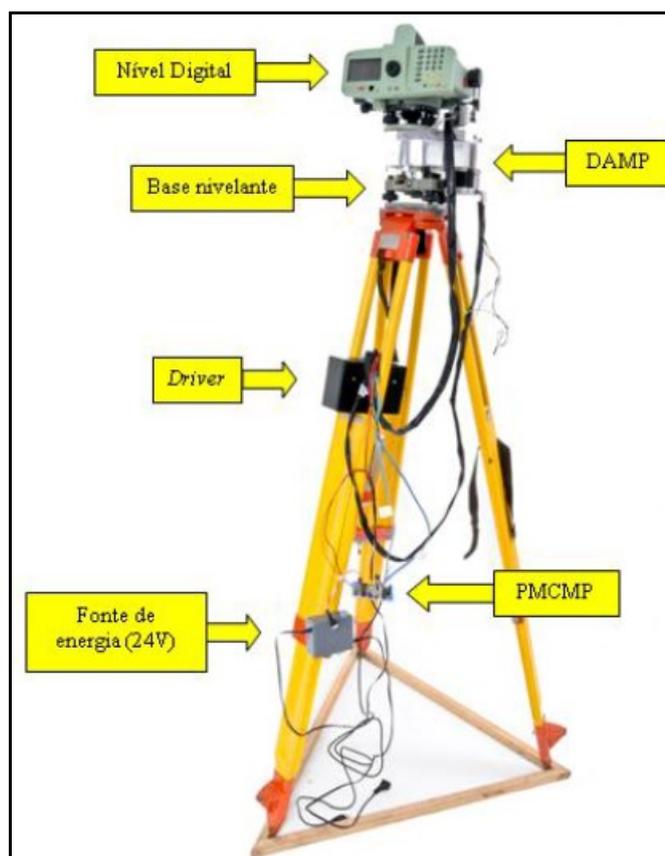


FIGURA 35- SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DE NÍVEL DIGITAL.

FONTE: ANDOLFATO, 2010

O componente software possui os seguintes elementos:

- softwares para programação do microcontrolador;
- software para automação do nível (SAMN).

A programação do microcontrolador foi elaborada no software Arduino Alpha V. 0018, o qual é *open source* e pode ser obtido na internet (ARDUINO, 2014). um código foi desenvolvido e gravado na própria placa, via comunicação serial, através da porta USB. Maiores detalhes em ANDOLFATO (2010).

O software SAMN foi desenvolvido utilizando linguagem *basic*, com o compilador Visual Basic 6 e utilizando como banco de dados o mySQL 5, que tem sua distribuição gratuita para projetos livres de comercialização. As principais funções do SAMN são (ANDOLFATO, 2010):

1. Realizar a comunicação com o nível digital;
2. Efetuar a comunicação com a placa PMCMP para acionamento dos motores de passo;
3. Registrar no banco de dados os valores coletados pelo nível digital, armazenando dados de altura, distância, ponto de marcação e obra;
4. Efetuar as marcações de obras e pontos de marcação.

A FIGURA 36 ilustra a tela inicial do software SAMN, onde o usuário poderá entrar com informações como nome do arquivo, nome e local da obra/serviço, configurar o ponto zero, marcar os pontos de interesse, realizar a medição no modo automático e acessar os arquivos com os dados das observações obtidas durante o período do levantamento.

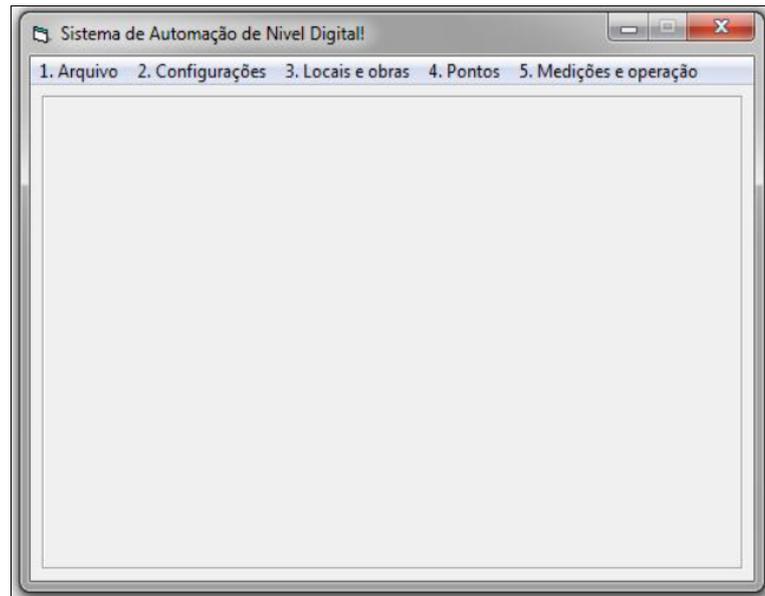


FIGURA 36- TELA DO SOFTWARE SAMN

FONTE: ANDOLFATO (2010)

O SAMN necessita de dados de entrada para iniciar o funcionamento do sistema. A primeira série de observações nos alvos é feita de forma manual. A partir de um ponto zero determinado arbitrariamente, faz-se a contagem do número de passos necessários para a realização da pontaria e focalização deste para os alvos em questão, através do uso de um notebook. O SAMN possui um banco de dados que armazena o número de passos necessários para a realização da pontaria e para a focalização.

Concluída esta etapa, determina-se então o número de repetições (séries) e o intervalo de tempo entre estas séries. O SAMN fornece como dados de saída a leitura da mira (altura), a distância nível-mira, dia e horário da observação (FIGURA 37).

```

Arquivo  Editar  Formatar  Exibir  Ajuda
-----X-----
andrefoco3
curitiba/PR
laig
teste
-----X-----

-----X-----
| Ponto | Altura          | Distância       | Data/Hora       |
-----X-----
| 1     | 000,03572      | 00003,951      | 2015-02-04 13:02:53 |
| 2     | 000,00000      | 00000,000      | 2015-02-04 13:03:27 |
| 3     | 000,06627      | 00003,228      | 2015-02-04 13:04:03 |
| 1     | 000,03572      | 00003,952      | 2015-02-04 13:05:02 |
| 2     | 000,00000      | 00000,000      | 2015-02-04 13:05:44 |
| 1     | 000,03572      | 00003,946      | 2015-02-04 13:09:53 |
| 2     | 000,03568      | 00004,052      | 2015-02-04 13:10:22 |
| 3     | 000,06633      | 00003,202      | 2015-02-04 13:10:58 |
| 1     | 000,03572      | 00003,943      | 2015-02-04 13:11:58 |
| 2     | 000,03568      | 00004,051      | 2015-02-04 13:12:28 |
| 3     | 000,06633      | 00003,203      | 2015-02-04 13:13:03 |
| 1     | 000,03572      | 00003,943      | 2015-02-04 13:14:03 |
| 2     | 000,03568      | 00004,051      | 2015-02-04 13:14:33 |
| 3     | 000,06633      | 00003,203      | 2015-02-04 13:15:08 |
| 1     | 000,03571      | 00003,942      | 2015-02-04 13:17:09 |
| 2     | 000,03568      | 00004,051      | 2015-02-04 13:17:39 |
| 3     | 000,06633      | 00003,203      | 2015-02-04 13:18:14 |
| 1     | 000,03572      | 00003,943      | 2015-02-04 13:19:14 |
| 2     | 000,03568      | 00004,051      | 2015-02-04 13:19:44 |
| 3     | 000,06633      | 00003,203      | 2015-02-04 13:20:19 |
| 1     | 000,03571      | 00003,944      | 2015-02-04 13:21:19 |
| 2     | 000,03568      | 00004,051      | 2015-02-04 13:21:49 |
| 3     | 000,06633      | 00003,203      | 2015-02-04 13:22:24 |
| 1     | 000,03571      | 00003,941      | 2015-02-04 13:24:25 |
| 2     | 000,03568      | 00004,052      | 2015-02-04 13:24:55 |
| 3     | 000,06633      | 00003,203      | 2015-02-04 13:25:31 |
| 1     | 000,03571      | 00003,942      | 2015-02-04 13:26:30 |

```

FIGURA 37- DADOS DE SAÍDA FORNECIDOS PELO SAMN

FONTE: O AUTOR

Mais detalhes sobre o desenvolvimento e o funcionamento do sistema de automação podem ser encontrados em ANDOLFATO (2010).

### 3 METODOLOGIA PROPOSTA

O monitoramento de estruturas tem seu papel consagrado nas atividades de engenharia, e existe uma especial preocupação nestes tipos de atividades de modo que os resultados fornecidos sejam confiáveis e possam subsidiar tomadas de decisões de maneira satisfatória. Os dados resultantes das mensurações, independente das técnicas utilizadas, devem ser acompanhados de parâmetros estatísticos para permitir análises e discussões, assim como para definir um planejamento das ações, sejam elas de curto, médio e/ou longo prazo, para se atingir determinados fins, geralmente associados à segurança da estrutura monitorada.

A automação da instrumentação topográfica vem a colaborar neste contexto trazendo inúmeros benefícios às atividades de campo, aumentando a produtividade e minimizando erros de observações e ainda possibilitando o monitoramento, de estruturas físicas em situações de risco que comprometam a vida humana, de forma contínua. No caso desta dissertação, tratar-se-á da validação (confiabilidade) de um sistema de automação do nível digital DNA03.

As tarefas para a realização dos experimentos consistem em primeiramente realizar o nivelamento geométrico dentro de uma área escolhida, utilizando apenas o nível digital DNA03, sem o sistema de automação. Séries de observações realizadas nas miras determinarão/ detectarão o recalque entre os pontos. A segunda etapa será repetir este experimento com a utilização do sistema SAND, comparar os dados deste levantamento com o anterior e realizar as análises necessárias para a validação do sistema.

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área escolhida para a realização dos testes foi o corredor térreo do bloco VI, próximo ao Laboratório de Instrumentação Topográfica (LAIG). O nível foi

colocado na entrada do laboratório, em uma posição tal que se pudesse efetuar as visadas em todos os pontos escolhidos, possibilitando a realização dos testes.(FIGURA 38). Os alvos foram posicionados nas paredes ao longo do corredor do bloco VI.



FIGURA 38- ALVOS POSICIONADOS NOS PONTOS.

FONTE: O AUTOR

### 3.2 MIRA GRADUADA COM CÓDIGO DE BARRAS

Para a realização dos testes, foram confeccionadas seis miras com códigos de barras, réplicas de uma mira de ínvar, da marca Leica. As dimensões das novas miras (FIGURA 39) confeccionadas são as seguintes:

Comprimento: 886,95mm;

Largura: 21,00mm.

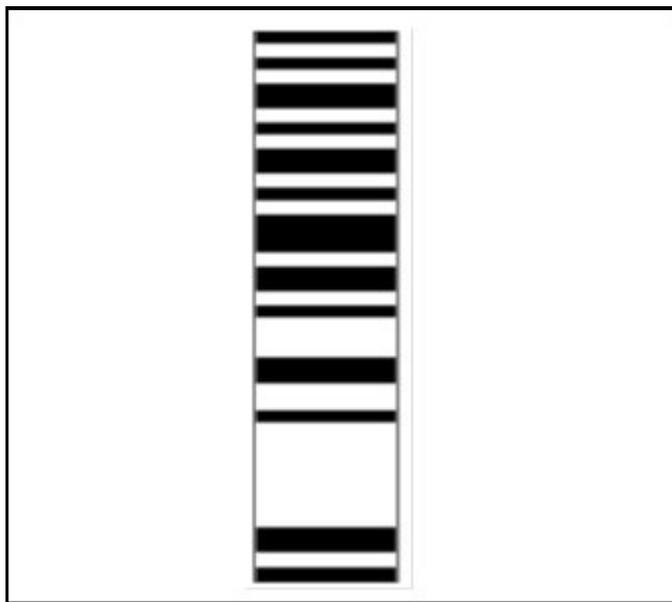


FIGURA 39- DESENHO DOS DETALHES DA MIRA FEITO NO AUTOCAD R14  
FONTE: ANDOLFATO, 2010

O projeto (desenho) do código de barras da mira de invar em que se baseou a confecção destas réplicas foi retirado de ANDOLFATO (2010).

Andolfato (2010) explica que os elementos do código de barra da mira de invar passaram por uma análise para checagem de seus elementos técnicos e os elementos do código foram desenhados utilizando-se o software *autocad R14*.

Cabe ressaltar que todo o estudo sobre a elaboração e desenvolvimento destas miras assim como Informações mais detalhadas sobre o processo de construção destas são encontradas (fornecidas) em ANDOLFATO (2010).

As miras foram impressas em papel adesivo e coladas em chapas de poliestireno standard, ou simplesmente PS, cujas principais características são:

- Brilho e transparência próximos às do acrílico e do vidro;
- Excelente difusão de luz;
- Boa resistência ao impacto frontal;
- Perfeita reprodução da superfície gravada;
- Elevada flexibilidade;

- Ótima estabilidade dimensional.

A FIGURA 40 mostra a comparação visual do alvo (mira) construído com a mira de ínvar de 1m de comprimento normalmente utilizada em atividades industriais.

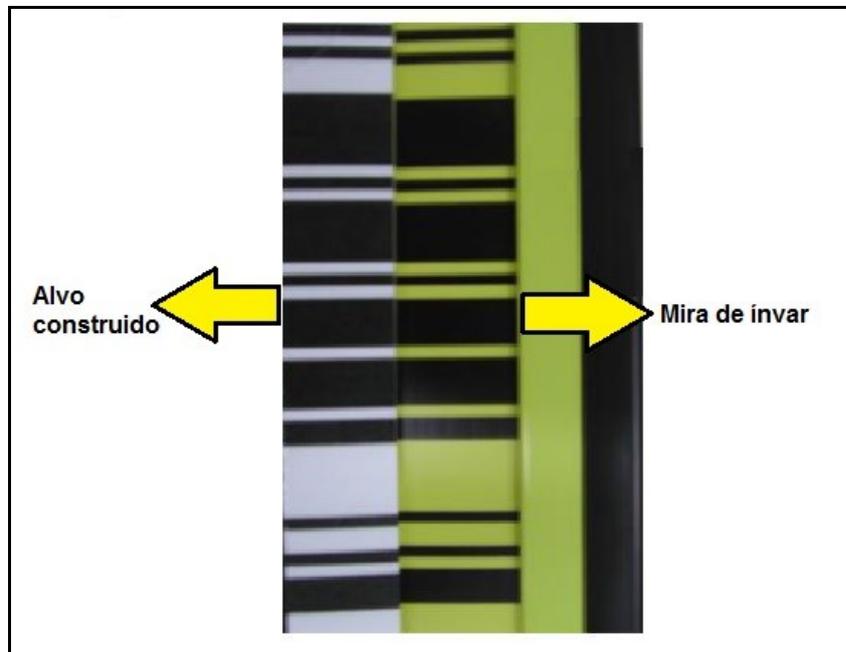


FIGURA 40- COMPARAÇÃO DO ALVO CONSTRUÍDO COM A MIRA ORIGINAL  
FONTE: ANDOLFATO, 2010

A FIGURA 41 ilustra os alvos (miras) construídos para os testes de simulação de recalque:



FIGURA 41- NOVOS ALVOS CONFECCIONADOS  
FONTE: O AUTOR

A necessidade do uso das miras confeccionadas se dá pela proposta deste trabalho de pesquisa que fará uso de alvos acoplados nas paredes ao longo do corredor do bloco VI. A simulação de recalques, que implica na mudança do posicionamento vertical dos alvos inviabiliza o uso de miras convencionais para este experimento, justificando, desta maneira, a utilização dos alvos citados.

### 3.3 TESTES REALIZADOS

#### 3.3.1 Verificação da Leitura das Miras Confeccionadas

Foi realizado um teste para verificar se o nível digital DNA 03 reconheceria as miras que foram confeccionadas com material P.S. (poliestireno standard). O teste foi realizado dentro das dependências do LAIG com duas das miras confeccionadas. O nível digital foi calado sobre o tripé industrial. Após uma série de observações, constatou-se que o nível foi capaz de reconhecer as miras, apresentando consistência nas leituras.

#### 3.3.2 Nivelamento Geométrico Convencional

Primeiramente, realizou-se o nivelamento geométrico sem o uso do SAND. Os dados coletados neste levantamento serviram de parâmetros para comparação com o levantamento que posteriormente foi executado com o SAND. Para esta etapa foram utilizados os seguintes instrumentos:

- Nível digital DNA03;
- Tripé industrial;
- Seis miras alvo confeccionadas com chapa OS.

Os alvos foram posicionados em pontos estratégicos, ao longo do corredor do bloco VI e neles foram realizadas séries de observações.

Para a simulação de recalques, foram colocados pregos em cada lugar escolhido do corredor. As miras receberam pequenos orifícios (três cada uma) para possibilitar a realização de mudança de posição vertical. A FIGURA 42 ilustra o esquema:

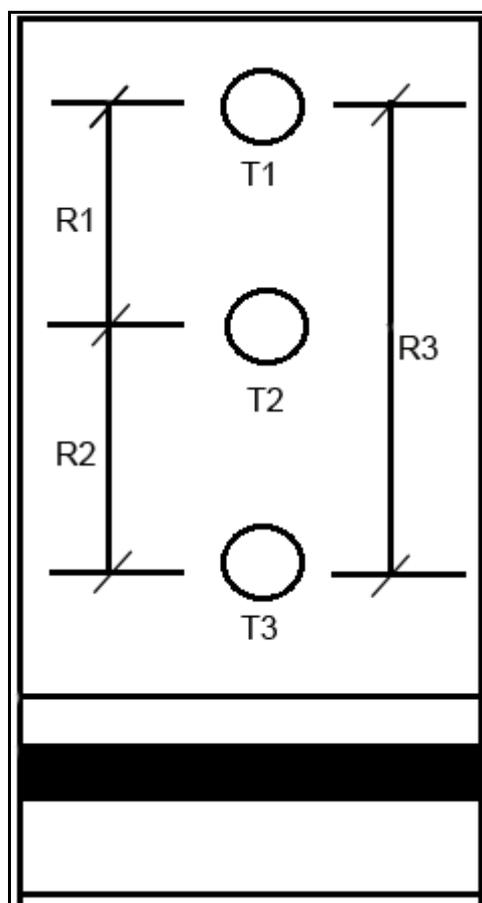


FIGURA 42- REPRESENTAÇÃO DOS ORIFÍCIOS FEITOS NA MIRA PARA SIMULAR RECALQUES

FONTE: O AUTOR

Ao orifício superior, denominou-se de posição T1, ao orifício central, denominou-se de posição T2 e, finalmente, ao orifício inferior, denominou-se de T3. Desta forma, às diferenças observadas entre T1 e T2, foi denominada de recalque R1. Para as diferenças observadas entre T2 e T3, foi convencionado chamar recalque R2 e para as diferenças encontradas entre T1 e T3, chamou-se R3.

Após uma determinada série de observações (dez observações para cada mira) dos alvos, suas posições foram alteradas e novas séries de observações foram

realizadas. As diferenças encontradas foram tratadas como recalques (R1,R2 e R3) com diferentes dimensões.

Estas diferentes situações simuladas foram posteriormente repetidas para os testes realizados já com o uso do SAND. A FIGURA 43 mostra um alvo na parede do corredor do bloco VI, já com os orifícios (T1,T2 E T3) que possibilitaram a simulação dos recalques:



FIGURA 43- FUROS NA MIRA ALVO PARA POSSIBILITAR A SIMULAÇÃO DE RECALQUE

FONTE: O AUTOR

Na sequencia realizou-se as medições dos pontos em suas diferentes posições, para posterior cálculo do recalque. Ao todo foram realizadas dez leituras para cada posição do alvo, totalizando 30 leituras para cada mira. O nível foi configurado para efetuar as leituras nos alvos através da média aritmética de três observações, ou seja, cada observação (leitura) que o nível efetuava representava a média aritmética de três leituras consecutivas.

Aksamitauskas *et al.* (2010) em seu trabalho de pesquisa que trata da investigação de fontes de erros oriundas de níveis digitais, dizem que não há uma dependência direta entre a quantidade de observações e a precisão das mesmas. A precisão das medidas depende da distância entre o nível digital e a mira com código de barras. A correlação entre o desvio padrão da média das leituras obtidas com o nível e o número (quantidade) de leituras é fraca. Baseado nisso, Aksamitauskas *et al.* (2010) sugerem um número de sete observações como ideal para se obter os melhores resultados no que diz respeito à precisão das observações. Um número maior de observações não implicará em uma melhoria significativa nas precisões das observações.

Com base nesta pesquisa, foi determinada então a quantidade de dez observações para cada alvo. As tabelas a seguir mostram os resultados das medidas, nas suas diferentes posições, assim como seus parâmetros estatísticos, representados pela média e desvio padrão.

TABELA 2- VALORES DE LEITURA PARA A POSIÇÃO T1 DOS ALVOS

ponto	leitura 1 (m)	leitura 2 (m)	leitura 3 (m)	leitura 4 (m)	leitura 5 (m)	leitura 6 (m)	leitura 7 (m)	leitura 8 (m)	leitura 9 (m)	leitura 10 (m)
1	0,7878	0,7877	0,7877	0,7878	0,7877	0,7877	0,7877	0,7877	0,7877	0,7877
2	0,4729	0,4726	0,4728	0,4728	0,4729	0,473	0,4729	0,4729	0,4729	0,4729
3	0,3541	0,3541	0,354	0,354	0,3541	0,3541	0,3541	0,3541	0,3541	0,3541
4	0,4445	0,4444	0,4445	0,4445	0,4445	0,4445	0,4445	0,4445	0,4445	0,4445
5	0,4057	0,4056	0,4056	0,4056	0,4056	0,4056	0,4056	0,4056	0,4056	0,4056
6	0,7415	0,7415	0,7415	0,7415	0,7415	0,7415	0,7415	0,7415	0,7415	0,7415

FONTE: O AUTOR

TABELA 3- VALORES DE DISTÂNCIA PARA A POSIÇÃO T1

ponto	leitura 1 (m)	leitura 2 (m)	leitura 3 (m)	leitura 4 (m)	leitura 5 (m)	leitura 6 (m)	leitura 7 (m)	leitura 8 (m)	leitura 9 (m)	leitura 10 (m)
1	2,64	2,65	2,65	2,64	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65
2	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98
3	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69	2,68	2,69	2,69
4	6,09	6,10	6,10	6,09	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10	6,09
5	9,84	9,85	9,84	9,84	9,84	9,84	9,84	9,84	9,84	9,84
6	13,66	13,66	13,66	13,66	13,65	13,66	13,66	13,66	13,66	13,66

FONTE: O AUTOR

TABELA 4- PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DAS OBSERVAÇÕES PARA A POSIÇÃO T1 DOS ALVOS

Pontos	média das leituras (m)	$\sigma$ (mm)	média das distâncias(m)	$\sigma$ (mm)
1	0,7877	0,0422	2,64	4,2163
2	0,4728	0,1075	1,98	0
3	0,3540	0,0422	2,68	3,1622
4	0,4444	0,0316	6,09	4,8304
5	0,4056	0,0316	9,84	3,1622
6	0,7415	0	13,65	3,1622

FONTE: O AUTOR

TABELA 5- VALORES DE LEITURA PARA A POSIÇÃO T2 DOS ALVOS

ponto	leitura 1 (m)	leitura 2 (m)	leitura 3 (m)	leitura 4 (m)	leitura 5 (m)	leitura 6 (m)	leitura 7 (m)	leitura 8 (m)	leitura 9 (m)	leitura 10 (m)
1	0,7843	0,7843	0,7844	0,7844	0,7844	0,7844	0,7844	0,7844	0,7844	0,7844
2	0,4729	0,4729	0,4729	0,4729	0,4729	0,4729	0,4729	0,4729	0,4729	0,4729
3	0,3512	0,3512	0,3512	0,3512	0,3512	0,3512	0,3512	0,3512	0,3512	0,3512
4	0,4365	0,4365	0,4365	0,4365	0,4365	0,4365	0,4365	0,4365	0,4365	0,4365
5	0,3997	0,3998	0,3998	0,3998	0,3998	0,3998	0,3998	0,3998	0,3998	0,3998
6	0,7271	0,7271	0,7271	0,7271	0,7271	0,7271	0,7271	0,7271	0,7271	0,7271

FONTE: O AUTOR

TABELA 6- VALORES DE DISTÂNCIA PARA A POSIÇÃO T2

ponto	Leitura1 (m)	leitura2 (m)	leitura3 (m)	leitura4 (m)	leitura5 (m)	leitura6 (m)	leitura7 (m)	leitura8 (m)	Leitura9 (m)	leitura 10 (m)
1	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65
2	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98
3	2,68	2,68	2,69	2,68	2,68	2,68	2,69	2,69	2,69	2,69
4	6,10	6,10	6,09	6,10	6,10	6,10	6,09	6,09	6,09	6,09
5	9,84	9,84	9,84	9,84	9,84	9,84	9,84	9,84	9,84	9,84
6	13,66	13,66	13,66	13,66	13,66	13,66	13,66	13,66	13,66	13,66

FONTE: O AUTOR

TABELA 7- PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DAS OBSERVAÇÕES PARA A POSIÇÃO T2 DOS ALVOS

Pontos	média das leituras (m)	$\sigma$ (mm)	média das distâncias(m)	$\sigma$ (mm)
1	0,7843	0,0422	2,65	0,0000
2	0,4729	0,0000	1,98	0,0000
3	0,3512	0,0000	2,68	0,0052
4	0,4365	0,0000	6,09	0,0052
5	0,3997	0,0316	9,84	0,0000
6	0,7271	0,0000	13,66	0,0000

FONTE: O AUTOR

TABELA 8- VALORES DE LEITURA PARA A POSIÇÃO T3 DOS ALVOS

ponto	leitura 1 (m)	leitura 2 (m)	leitura 3 (m)	leitura 4 (m)	leitura 5 (m)	leitura 6 (m)	leitura 7 (m)	leitura 8 (m)	leitura 9 (m)	leitura 10 (m)
1	0,7763	0,7763	0,7763	0,7763	0,7763	0,7763	0,7763	0,7763	0,7763	0,7763
2	0,4729	0,4728	0,473	0,4729	0,4729	0,4729	0,4729	0,4729	0,4729	0,4729
3	0,3448	0,3448	0,3448	0,3448	0,3448	0,3448	0,3447	0,3448	0,3448	0,3448
4	0,4301	0,4301	0,4301	0,4301	0,4301	0,4301	0,4301	0,4301	0,4301	0,4301
5	0,3920	0,3920	0,3919	0,3920	0,3920	0,3920	0,3919	0,3919	0,3919	0,3919
6	0,7130	0,7130	0,7130	0,7130	0,7130	0,7130	0,7130	0,7130	0,7130	0,7130

FONTE: O AUTOR

TABELA 9- VALORES DE DISTÂNCIA PARA A POSIÇÃO T3

ponto	leitura 1 (m)	leitura 2 (m)	leitura 3 (m)	leitura 4 (m)	leitura 5 (m)	leitura 6 (m)	leitura 7 (m)	leitura 8 (m)	leitura 9 (m)	leitura 10 (m)
1	2,66	2,66	2,66	2,65	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66
2	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98
3	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68
4	6,09	6,10	6,09	6,09	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10
5	9,84	9,84	9,84	9,84	9,84	9,84	9,84	9,84	9,84	9,84
6	13,65	13,66	13,66	13,66	13,66	13,66	13,66	13,66	13,66	13,66

FONTE: O AUTOR

TABELA 10- PARÂMETROS ESTATÍSTICOS PARA A POSIÇÃO T3 DOS ALVOS

Pontos	média das leituras (m)	$\sigma$ (mm)	média das distâncias (m)	$\sigma$ (mm)
1	0,7763	0,0000	2,65	0,0031
2	0,4729	0,0000	1,98	0,0000
3	0,3447	0,0000	2,68	0,0000
4	0,4301	0,0000	6,09	0,0048
5	0,3919	0,0000	9,84	0,0000
6	0,7130	0,0000	13,65	0,0031

FONTE: O AUTOR

### 3.3.3 Testes de Estabilidade e Focalização

Com o intuito de verificar a estabilidade do SAND, bem como seu movimento de focalização, foram realizados testes nas dependências do LAIG utilizando o nível digital DNA 03 em conjunto com o sistema SAND. Três miras foram utilizadas para este procedimento, conforme ilustra a FIGURA 44:



FIGURA 44- ALVOS POSICIONADOS NAS DEPENDENCIAS DO LAIG  
FONTE: O AUTOR

O procedimento para a verificação da estabilidade do SAND consistiu em realizar verificações quanto à calagem do equipamento durante o período em que o sistema estivesse operando. O motor de passo, ao converter a energia elétrica em pulsos, ocasiona um movimento que se assemelha a pequenos “socos” ou “trancos”, sendo este movimento um fator em potencial para desnivelar o compensador do nível. A FIGURA 45 mostra o equipamento montado dentro das dependências do LAIG:



FIGURA 45- SAND OPERANDO NAS DEPENDÊNCIAS DO LAIG  
FONTE: O AUTOR

Constatou-se, durante o processo de calagem do sistema, que o nível de bolha que compõe o DAMP apresentou problemas, interferindo no processo de calagem do nível. Apenas o tripé e o nível foram nivelados.

A consequência esperada deste problema foi a limitação da dimensão do ângulo entre os alvos, ou seja, os alvos não poderiam estar muito espaçados (distantes) um do outro uma vez que conforme o braço mecânico vai se deslocando do seu ponto de partida, faz com que o nível perca sua calagem e consequentemente seu compensador ultrapasse o limite de atuação. A distância entre os alvos neste teste não foi acentuada, o que permitiu que o nível funcionasse em condições suficientes para a leitura dos três alvos.

Juntamente a este experimento, também se verificou a estabilidade do SAND no que diz respeito ao movimento de focalização através do sistema de

polias/roldanas do mesmo para detectar possíveis imperfeições no seu funcionamento.

O teste teve uma duração de aproximadamente três horas. Os dados obtidos durante a operação foram armazenados por um banco de dados que faz parte do sistema. O software SAMN cria um arquivo .txt contendo os valores da leitura no alvo, distância do alvo ao nível, a data e a hora do levantamento.

No que tange ao funcionamento polia/roldana para a focalização da imagem do alvo, não foi detectado nenhum tipo de problema, para pequena distância focal entre os alvos, operando o sistema em condições perfeitas.

Constatou-se que o motor de passo responsável pelo movimento horizontal do nível não afetou a calagem do mesmo.

Ressalta-se que o comportamento tanto do motor de passo responsável pelo movimento micrométrico horizontal quanto do motor de passo responsável pelo funcionamento do sistema polia/roldana foram novamente analisados nos levantamentos realizados com o SAND no corredor do bloco VI, já com seis alvos, com direções angulares e distancias lineares maiores para uma análise mais profunda do equipamento.

#### 3.3.4 Nivelamento Geométrico utilizando o SAND.

Como parte dos procedimentos para a validação do Sistema de Automação do Nível Digital, realizou-se o nivelamento geométrico com o uso do SAND conforme ilustra a FIGURA 46. A calagem do sistema deu-se fazendo a pontaria do nível entre os alvos 3 e 4, pois desta forma a dimensão do ângulo não afetaria a atuação do compensador.



FIGURA 46- CORREDOR DO BLOCO VI

FONTE: O AUTOR

O SAND pede, em seu sistema operacional, para que se determine um ponto zero inicial (arbitrário) que servirá de referência para o início da contagem dos passos para fazer a pontaria aos alvos. O SAND possui um software (SAMN) que irá armazenar a quantidades de passos necessários para a realização da pontaria em cada mira. Este ponto zero inicial pode ser em qualquer lugar próximo ao alvo que possa servir de referência ou mesmo o próprio alvo.

Paralelo a este procedimento, ao se fazer a pontaria nos alvos, também é necessário realizar a contagem, através do SAMN, do número de passos necessários para o ajuste da focalização da imagem.

O software armazena os valores da contagem em seu banco de dados. Depois de concluída esta etapa o sistema retorna ao ponto inicial. Na etapa seguinte é feita a configuração da quantidade de repetições da série e do intervalo de tempo entre as séries. Concluída esta etapa, inicia-se o processo de medição.

As TABELAS 11,12 e 13 mostram os valores médios observados de cada um dos alvos após um período de aproximadamente seis horas de operação:

TABELA 11- PARAMETROS ESTATISTICOS DAS OBSERVAÇÕES REALIZADAS COM O SAND PARA A POSIÇÃO T1 DOS ALVOS

Pontos	média das leituras (m)	$\sigma$ (mm)	média das dist.(m)	$\sigma$ (mm)
1	0,7282	0,0527	2,7588	3,6453
2	0,4135	0,0516	2,0216	2,5841
3	0,2944	0,0441	2,5995	1,3333
4	0,3848	0,0000	5,9732	3,0110
5	0,3459	0,0535	9,7237	3,7321
6	0,6818	0,0886	13,5412	2,1666

FONTE: O AUTOR

TABELA 12- PARAMETROS ESTATISTICOS DAS OBSERVAÇÕES REALIZADAS COM O SAND PARA A POSIÇÃO T2 DOS ALVOS

Pontos	média das leituras (m)	$\sigma$ (mm)	média das dist.(m)	$\sigma$ (mm)
1	0,7245	0,0527	2,7641	0,7378
2	0,4089	0,0527	2,0168	0,4216
3	0,2917	0,0000	2,6053	0,4830
4	0,3768	0,0000	5,9823	1,3374
5	0,3399	0,0516	9,7309	2,1832
6	0,6675	0,0527	13,5372	1,6035

FONTE: O AUTOR

TABELA 13- PARAMETROS ESTATISTICOS DAS OBSERVAÇÕES REALIZADAS COM O SAND PARA A POSIÇÃO T3 DOS ALVOS

Pontos	média das leituras (m)	$\sigma$ (mm)	média das dist.(m)	$\sigma$ (mm)
1	0,7168	0,0000	2,7624	1,2649
2	0,4091	0,1174	2,0189	2,4698
3	0,2852	0,0316	2,6021	1,2866
4	0,3705	0,0000	5,9758	0,9189
5	0,3323	0,0632	9,7250	1,6996
6	0,6535	0,0675	13,5365	2,4152

FONTE: O AUTOR

Operando com as limitações do equipamento, já expostas e esclarecidas, em aproximadamente seis horas de funcionamento, realizando pontarias e fazendo leituras, o sistema apresentou falhas em oito leituras, detectadas no arquivo txt gerado pelo SAND, devido a problemas de pontaria e de focalização do alvo. O motor de passo mostrou-se inconstante nestas ocasiões e foi constatado que o sistema polia/roldana, responsável pelo movimento de focalização da imagem no alvo, apresentou leve perda de focagem com o passar do tempo, tendo prejudicado o final do levantamento.

Ainda sobre o teste de focalização, foi constatado que quanto maior a distância ao alvo, o nível operado pelo SAND vai perdendo sua focalização.

Apesar dos problemas que o SAND apresentou, verificou-se, de modo geral, que o sistema operou de maneira satisfatória, apresentando resultados consistentes. As leituras medidas apresentaram precisões no décimo do milímetro e superiores, enquanto as medidas de distância apresentaram precisões milimétricas e superiores.

### 3.3.5 Testes de Leitura de Alvos em Condições de Pouca Luminosidade

Para verificação do comportamento do equipamento no que tange a leitura de alvos em ambientes com pouca iluminação, realizou-se dois experimentos:

- Teste realizado nas dependências do LAIG, sob total ausência de luz, utilizando-se uma lanterna para iluminar o alvo.
- Teste realizado no corredor do bloco VI, utilizando quatro alvos. Este levantamento teve início na parte da tarde, prosseguindo até o anoitecer, onde as condições de iluminação diminuem sensivelmente.

#### 3.3.5.1 Teste nas dependências do LAIG

Para o teste de leitura de alvos em ambientes com pouca iluminação, dois alvos foram posicionados nas dependências do LAIG, conforme ilustra a FIGURA 47:



FIGURA 47- TESTE DE LEITURA EM AMBIENTES COM POUCA ILUMINAÇÃO (DEPENDÊNCIAS DO LAIG)

FONTE: O AUTOR

O nível ficou posicionado a uma distância de aproximadamente quatro metros dos alvos, conforme FIGURA 48:



FIGURA 48- DISTANCIA DO NÍVEL AOS ALVOS  
FONTE: O AUTOR

Após devidamente instalado o equipamento, seguiu-se os seguintes procedimentos para a realização dos testes:

- configuração do SAND para a realização das observações;
- desligamento da iluminação nas dependências do LAIG;
- iluminação dos alvos através de uma lanterna, posicionada frontalmente aos alvos.

A iluminação deu-se posicionando uma lanterna de 980 lumens/350 watts de maneira frontal ao alvo, a uma determinada distância. As distâncias utilizadas para os testes foram:

- 50 cm;
- 1 metro;

-1,50 metro; e

-2 metros.

Para cada distância previamente determinada, uma série de observações (leituras nos alvos) era realizada. A FIGURA 49 ilustra as condições de iluminação nas dependências do LAIG para a execução do teste.



FIGURA 49- ALVOS ILUMINADOS POR UMA LANTERNA

FONTE: O AUTOR

O QUADRO 3 mostra os resultados do teste quanto à detecção do alvo:

Distância do alvo a fonte iluminadora (metros)	resultado das observações quanto à detecção
0,50	Detecta
1,00	Detecta
1,50	Detecta
2,00	Não detecta

QUADRO 3- RESULTADOS DOS TESTES PARA DETECÇÃO DE ALVOS ILUMINADOS POR UMA LANTERNA

FONTE: O AUTOR

Nos testes em que a distância entre a lanterna e o alvo era de 0,50m, o SAND apresentou boa resposta para detecção dos alvos, estando o SAND posicionado a 4 (quatro) metros de distância aproximadamente dos alvos. Isto se repetiu para as distâncias de 1 metro e 1,50 metros.

A partir da distância de 2 metros entre as miras e a lanterna, o sistema passou a não responder a detecção dos alvos, ou seja, não conseguiu reconhecer os alvos.

Gassner *et al.* (2004) demonstraram, através de medições em condições semelhantes, que o DNA detecta alvos de maneira correta, em condições de total ausência de luz, estando as miras iluminadas por uma lanterna. Foram realizados testes em que a iluminação nas miras foram feitas de maneira frontal, ou seja, estando a lanterna em frente à mira, até um ângulo de 45°. É sugerido que se evite fazer observações iluminando o alvo em ângulos muito obtusos/agudos, para evitar o efeito do sombreamento dos elementos do código de barras, que pode ocasionar erros na ordem de grandeza de 0,1 mm.

#### 3.3.5.2 Teste no corredor do bloco VI

Para a realização deste experimento, quatro alvos (miras) foram utilizados. Eles foram posicionados no corredor do bloco VI, conforme FIGURA 50:



FIGURA 50- ALVOS POSICIONADOS NO CORREDOR DO BLOCO VI  
FONTE: O AUTOR

O equipamento foi posicionado na entrada do laboratório LAIG, a exemplo de experimentos anteriores.

O teste foi iniciado na parte da tarde, prosseguindo até ao anoitecer. A ideia foi verificar se a baixa iluminação no período da noite influencia na realização da leitura dos alvos e na determinação dos recalques. A FIGURA 51 ilustra as condições de iluminação no período noturno no corredor do bloco VI.

O objetivo deste experimento foi o de verificar se as diferentes condições de iluminação afetariam as precisões e as leituras das observações determinadas pelo SAND. As leituras da parte da tarde foram utilizadas como isentas de erros para comparação com amostras de leitura da parte da noite.



FIGURA 51- CONDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO PARA A REALIZAÇÃO DO TESTE  
FONTE: O AUTOR

Cada mira foi alvo de 9 (nove) períodos de observações, sendo três períodos de observações para cada posição (T1, T2 e T3) da mira.

A média destas observações foi utilizada para a determinação dos resíduos das leituras para o período da tarde e da noite. As TABELAS 14 e 15 mostram os resíduos obtidos para um determinado grupo amostral, retirado de observações diurnas e observações noturnas para os quatro alvos, na posição T1 e as TABELAS 16 e 17 mostram os resíduos obtidos para um determinado grupo amostral para os quatro alvos, na posição T3, para o período da tarde e da noite.

TABELA 14- RESÍDUOS DAS OBSERVAÇÕES NO PERÍODO DA TARDE NA POSIÇÃO T1

tabela de resíduos (m) período da tarde –T1			
alvo 1	alvo 2	alvo 3	alvo 4
-0,0002	0,0001	0,0000	-0,0002
-0,0002	0,0002	0,0002	-0,0001
-0,0002	0,0000	-0,0001	-0,0002
-0,0002	0,0000	-0,0001	-0,0001
-0,0002	0,0002	0,0002	-0,0001
-0,0002	0,0002	-0,0001	-0,0002

FONTE: O AUTOR

TABELA 15- RESÍDUOS DAS OBSERVAÇÕES NO PERÍODO DA NOITE NA POSIÇÃO T1

tabela de resíduos (m) período da noite-T1			
alvo 1	alvo 2	alvo 3	alvo 4
-0,0001	-0,0001	0,0000	-0,0001
-0,0001	-0,0001	0,0000	-0,0001
-0,0001	-0,0001	0,0000	-0,0001
-0,0001	-0,0001	0,0000	-0,0001
-0,0001	-0,0001	0,0000	-0,0001
-0,0001	-0,0001	0,0001	-0,0002

FONTE: O AUTOR

Verificou-se comportamento semelhante aos resíduos dos alvos na posição T3, conforme podem ser vistos nas TABELA 16 e 17:

TABELA 16- RESÍDUOS DAS OBSERVAÇÕES NO PERÍODO DA TARDE NA POSIÇÃO T3

tabela de resíduos (m) período da tarde-T3			
alvo 1	alvo 2	alvo 3	alvo 4
-0,0002	0,0001	-0,0002	0,0000
-0,0002	0,0001	-0,0002	-0,0001
-0,0002	0,0001	-0,0002	-0,0001
-0,0002	0,0001	-0,0002	-0,0001
-0,0002	0,0001	-0,0002	-0,0001
-0,0002	0,0001	0,0000	-0,0001

FONTE: O AUTOR

TABELA 17- RESÍDUOS DAS OBSERVAÇÕES NO PERÍODO DA NOITE NA POSIÇÃO T3

tabela de resíduos (m) período da noite-T3			
alvo 1	alvo 2	alvo 3	alvo 4
0,0000	-0,0001	0,0002	0,0002
0,0000	-0,0001	0,0002	0,0002
0,0000	-0,0001	0,0001	0,0000
0,0000	0,0000	0,0003	0,0000
0,0000	0,0000	0,0002	0,0003
0,0000	-0,0001	0,0002	0,0002

FONTE: O AUTOR

Constatou-se que os resíduos foram pequenos, variando no décimo do milímetro para todas as observações realizadas. Logo, não houve influência significativa da fraca iluminação dos alvos para a realização de leituras com o SAND.

Para uma análise mais profunda, simulações de recalques foram realizadas no período da tarde e no período da noite. Recorreu-se as inferências estatísticas, Para testar se há uma diferença significativa entre as variâncias  $\sigma_1^2$  e  $\sigma_2^2$  das observações coletadas, sendo  $\sigma_1^2$  a variância das amostras coletadas referente às observações do período diurno e  $\sigma_2^2$  a variância das amostras coletadas referente às observações do período noturno.

Dalmolin (2004) diz que a variância é um valor que expressa a precisão de um conjunto de observações. É possível verificar dentro de certo nível de significância se há diferenças significativas na precisão da determinação dos recalques para cada um dos alvos.

Segundo Guerra e Donaire (1982), em qualquer teste de significância, basicamente, a sequência citada deve ser adotada:

- a) Enunciar as hipóteses  $H_0$  ( hipótese nula) e  $H_1$  (hipótese alternativa). A hipótese nula afirma que não existe diferença entre as variâncias populacionais ( $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ ). A hipótese alternativa afirma que existe diferença significativa entre as variâncias populacionais ( $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ );
- b) Fixar o limite de erro  $\alpha$  ( nível de significância);
- c) Determinar a região crítica em função da variável tabelada;
- d) Calcular o valor da variável do teste, obtido na amostra;
- e) Aceitar ou rejeitar a hipótese nula de acordo com a estimativa obtida no item d) em comparação com a região crítica estabelecida no item c).

Para a determinação dos recalques, manteve-se a convenção de se chamar os três orifícios da mira de T1, T2 e T3, sendo o orifício superior chamado de T1, o orifício central chamado de T2 e o orifício inferior de T3. Também se manteve a convenção quanto à denominação dos recalques: R1( T1 - T2, ou seja, a leitura da posição da mira na posição T1 menos a leitura da mira na posição T2, para um mesmo alvo), R2 (T2 - T3) e R3 (T1 - T3). Deste modo, três valores de recalque para um mesmo alvo são simulados e determinados.

As tabelas que seguem ilustram os recalques calculados no período diurno e noturno para os quatro alvos, a partir de amostras extraídas de um conjunto de observações:

TABELA 18- DETERMINAÇÃO DO RECALQUE R1(PERÍODO DIURNO)

ALVO 1/ R1 (mm)	ALVO 2/ R1 (mm)	ALVO 3/ R1 (mm)	ALVO 4/ R1 (mm)
3,4	7,8	5,7	14,8
3,4	7,7	5,5	14,7
3,4	8,0	5,9	14,7
3,4	7,8	5,8	14,7

3,4	7,7		14,5
3,4	7,7		14,8
3,4	7,7		
3,4	7,9		
3,5	7,9		
3,4			

FONTE: O AUTOR

TABELA 19- DETERMINAÇÃO DO RECALQUE R3 (PERÍODO DIURNO)

ALVO 1/ R3 (mm)	ALVO 2/ R3 (mm)	ALVO 3/ R3 (mm)	ALVO 4/ R3 (mm)
9,2	14,7	13,5	28,5
9,2	14,6	13,3	28,3
9,2	14,8	13,6	28,4
9,2	14,8	13,6	28,3
9,2	14,6	13,3	28,3
9,2	14,6	13,8	28,4
9,2	14,7	13,6	
9,2	14,8	13,8	
9,3	14,9	13,6	
	14,7	13,9	
	14,9		

FONTE: O AUTOR

TABELA 20- DETERMINAÇÃO DO RECALQUE R2 (PERÍODO DIURNO)

ALVO 1/ R2 (mm)	ALVO 2/ R2 (mm)	ALVO 3/ R2 (mm)	ALVO 4/ R2 (mm)
5,8	6,9	7,8	13,7
5,8	6,9	7,8	13,6
5,8	6,8	7,7	13,7
5,8	7,0	7,8	13,6
5,8	6,9		13,8
5,8	6,9		13,6
5,8	7,0		13,8
5,8	6,9		13,7
5,8	7,0		

FONTE: O AUTOR

As próximas tabelas mostram os recalques determinados para as três posições para cada alvo no período noturno:

TABELA 21- DETERMINAÇÃO DO RECALQUE R1 (PERÍODO NOTURNO)

ALVO 1/ R1 (mm)	ALVO 2/ R1 (mm)	ALVO 3/ R1 (mm)	ALVO 4/ R1 (mm)
3,3	8,4	5,8	14,6
3,3	8,4	5,9	14,6
3,3	8,4	5,9	14,6
3,2	8,4	5,9	14,7
3,3	8,4	5,9	14,6
3,3	8,4	5,9	14,7
3,3	8,4	6,0	14,6
3,2	8,4	5,9	14,5
3,2	8,5		14,7

FONTE: O AUTOR

TABELA 22- DETERMINAÇÃO DO RECALQUE R3 (PERÍODO NOTURNO)

ALVO 1/ R3 (mm)	ALVO 2/ R3 (mm)	ALVO 3/ R3 (mm)	ALVO 4/ R3 (mm)
9,3	14,7	13,9	28,6
9,3	14,7	13,9	28,6
9,3	14,7	13,8	28,4
9,3	14,8	14,0	28,4
9,3	14,8	13,9	28,7
9,3	14,7	13,8	28,7
9,3	14,7	14,0	28,8
9,2	14,8	13,7	28,6
9,2	14,7	13,8	28,7
9,2	14,7	13,9	28,5
9,3	14,7		28,6
9,2	14,8		28,2
9,3	14,7		28,2
9,2	14,7		28,2

FONTE: O AUTOR

TABELA 23- DETERMINAÇÃO DO RECALQUE R2 (PERÍODO NOTURNO)

ALVO 1/ R2 (mm)	ALVO 2/R2 (mm)	ALVO 3/ R2 (mm)	ALVO 4/ R2 (mm)
6,0	6,3	8,1	14,0
6,0	6,3	8,0	14,0
6,0	6,3	7,9	13,8
6,1	6,4	8,1	13,7
6,0	6,4	8,0	14,1
6,0	6,3	7,9	14,0
6,0	6,3	8,0	14,2
6,0	6,4	7,8	14,1
6,0	6,2		14,0

FONTE: O AUTOR

Para o teste de igualdade de duas variâncias populacionais  $\sigma_1^2$  e  $\sigma_2^2$ , formula-se a hipótese nula supondo as duas variâncias iguais:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 \quad (23)$$

A hipótese alternativa será formulada supondo-se as variâncias sendo diferentes:

$$H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2 \quad (24)$$

Nestas condições, onde o que será testado entre as variâncias será apenas a sua condição de igualdade ( $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ ) ou diferença ( $H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ ), o teste de hipótese será bilateral.

A variável escolhida é "F" de Snedecor, sendo  $\phi_1 = n_1 - 1$  graus de liberdade no numerador e  $\phi_2 = n_2 - 1$  graus de liberdade no denominador. O nível de significância adotado é de 5%.

$$F = \left( \frac{S_1^2}{S_2^2} \right) * \left( \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} \right) \quad (25)$$

Como  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ , então:

$$F = \left( \frac{S_1^2}{S_2^2} \right) \quad (26)$$

Sendo:

$S_1^2$  e  $S_2^2$  as variâncias amostrais

Como já mencionado, o número de significância utilizado é de 5%, ou 0,05. Então  $\alpha/2$  é igual a 0,025 para um teste bilateral. A aplicação do teste consiste em calcular, por meio da equação 25 a estatística F, e comparando seu valor a  $F_{\alpha/2}$ , que se trata de um valor tabelado. Os valores de F calculados são confrontados com os valores da tabela F de SNEDECOR, valores estes que variam de acordo com o grau de liberdade das amostras.

Para que a hipótese nula seja aceita, é necessário que sua variável estatística F (razão entre as variâncias das amostras) esteja no intervalo de  $F_{\alpha/2}$  e  $1 - F_{\alpha/2}$ .

As tabelas que seguem mostram os testes de variância realizados para os recalques calculados das amostras coletadas:

TABELA 24- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R1 NO ALVO 1

ALVO 1/ R1	$\sigma_1^2$ (m)	$\sigma_2^2$ (m)
	0,000000001	0,000000002
GR. LIBER.	9	8
F	0,4	passou
$F_{\alpha/2}$	4,3570	
$1 - F_{\alpha/2}$	0,244	

FONTE: O AUTOR

TABELA 25- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R3 NO ALVO 1

ALVO 1/ R3	$\sigma_1^2$ (m)	$\sigma_2^2$ (m)
	0,000000001	0,000000002
GR. LIBER.	8	13
F	0,449382716	passou
$F_{\alpha/2}$	3,388	
$1 - F_{\alpha/2}$	0,24	

FONTE: O AUTOR

TABELA 26- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R2 NO ALVO 1

ALVO 1/ R2	$\sigma_1^2$ (m)	$\sigma_2^2$ (m)
	0,00000	0,000000001
GR. LIBER.	8	8
F	0	Não passou
F $\alpha/2$	4,433	
1- F $\alpha/2$	0,226	

FONTE: O AUTOR

TABELA 27 TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R1 NO ALVO 2

ALVO 2/ R1	$\sigma_1^2$ (m)	$\sigma_2^2$ (m)
	0,000000012	0,000000001
GR. LIBER.	8	8
F	11,25	Não passou
F $\alpha/2$	4,4330	
1- F $\alpha/2$	0,226	

FONTE: O AUTOR

TABELA 28- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R3 NO ALVO 2

ALVO 2/ R3	$\sigma_1^2$ (m)	$\sigma_2^2$ (m)
	0,000000013	0,000000002
GR. LIBER.	10	13
F	5,708181818	Não passou
F $\alpha/2$	3,25	
1- F $\alpha/2$	0,279	

FONTE: O AUTO

TABELA 29- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R2 NO ALVO 2

ALVO 2/ R2	$\sigma_1^2$ (m)	$\sigma_2^2$ (m)
	0,000000004	0,000000004
GR. LIBER.	8	8
F	1	passou
F $\alpha/2$	4,4330	
1- F $\alpha/2$	0,226	

FONTE: O AUTOR

TABELA 30- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R1 NO ALVO 3

ALVO 3/ R1	$\sigma_1^2$ (m)	$\sigma_2^2$ (m)
	0,000000029	0,000000003
GR. LIBER.	3	7
F	10,20833333	Não passou
F $\alpha/2$	5,8900	
1- F $\alpha/2$	0,068	

FONTE: O AUTOR

TABELA 31- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R3 NO ALVO 3

ALVO 3/ R3	$\sigma_1^2$ (m)	$\sigma_2^2$ (m)
	0,000000040	0,000000009
GR. LIBER.	9	9
F	4,444444444	Não passou
F $\alpha/2$	4,0260	
1- F $\alpha/2$	0,248	

FONTE: O AUTOR

TABELA 32- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R2 NO ALVO 3

ALVO 3/ R2	$\sigma_1^2$ (m)	$\sigma_2^2$ (m)
	0,000000003	0,000000011
GR. LIBER.	3	7
F	0,233333333	passou
F $\alpha/2$	5,8900	
1- F $\alpha/2$	0,068	

FONTE: O AUTOR

TABELA 33- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R1 NO ALVO 4

ALVO 4/ R1	$\sigma_1^2$ (m)	$\sigma_2^2$ (m)
	0,000000012	0,000000004
GR. LIBER.	5	8
F	2,7	passou
F $\alpha/2$	4,8170	
1- F $\alpha/2$	0,148	

FONTE: O AUTOR

TABELA 34- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R3 NO ALVO 4

ALVO 4/ R3	$\sigma_1^2$ (m)	$\sigma_2^2$ (m)
	0,000000007	0,000000041
GR. LIBER.	5	13
F	0,161347518	passou
F $\alpha/2$	3,7670	
1- F $\alpha/2$	0,154	

FONTE: O AUTOR

TABELA 35- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R2 NO ALVO 4

ALVO 4/ R2	$\sigma_1^2$ (m)	$\sigma_2^2$ (m)
	0,000000007	0,000000024
GR. LIBER.	7	8
F	0,294957983	passou
F $\alpha/2$	4,5290	
1- F $\alpha/2$	0,204	

FONTE: O AUTOR

Após os testes para a igualdade das variâncias (F de Snedecor), foi constatado que:

- Para o alvo 1, os recalques R1 e R3 passaram no teste estatístico de análise de igualdade de variância; para o recalque R2, a hipótese nula foi rejeitada;
- Para o alvo 2, apenas o recalque R2 teve a hipótese nula aceita.
- Para o alvo 3, assim como ocorreu no alvo 2, apenas a hipótese nula referente ao recalque R2 passou no teste estatístico;
- Para o alvo 4, todos os recalques tiveram sua hipótese nula aceita.

A aceitação da hipótese nula ( $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ ) para este teste implica em confirmar e afirmar que não há diferenças significativas de precisão, estatisticamente falando, entre os recalques determinados pelo SAND para um mesmo alvo em dois momentos distintos, que neste caso seriam observações tomadas na parte da tarde e observações tomadas no período da noite.

A rejeição da hipótese nula, portanto a constatação da hipótese alternativa ( $H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ ), afirma que existem diferenças significativas, a um nível de significância de 5%, entre as precisões dos recalques determinados pelo SAND.

Embora uma parte das amostras tenha sido rejeitada no teste estatístico, isto não significa que a qualidade das observações esteja comprometida, uma vez que a ordem de grandeza dos parâmetros estatísticos envolvidos (no caso a variância) é muito pequena, não influenciando as medições.

### 3.3.6 Determinação e Comparação de Recalques Absolutos entre o SAND e o Nivelamento Geométrico Convencional

Nesta etapa, foram calculados os recalques para os seis alvos com os dados obtidos do nivelamento geométrico convencional (TABELA 36) e do nivelamento utilizando o SAND.(TABELA 37). De posse destes dados, uma comparação foi realizada para verificar qual a ordem de grandeza que separa os valores calculados nestes dois métodos (TABELA 38).

Como dito anteriormente, os recalques de cada alvo foram nomeados em R1 (T1 – T2), R2 (T2 – T3) e R3 (T1 – T3), para facilitar a compreensão das tabelas comparativas entre os recalques determinados tanto no nivelamento convencional quanto no nivelamento com o SAND.

A TABELA 36 mostra as médias dos recalques calculados para as três posições de cada um dos seis alvos no nivelamento convencional:

TABELA 36-RECALQUES NIVELAMENTO CONVENCIONAL EM R1, R2 E R3

RECALQUES NIVELAMENTO CONVENCIONAL (mm)			
ALVOS	R1	R2	R3
1	3,34	8,08	11,42
2	0,04	0	0,04
3	2,88	6,41	9,29
4	7,99	6,4	14,39
5	5,82	7,84	13,66
6	14,4	14,1	28,5

FONTE: O AUTOR

Cabe salientar que os valores obtidos para os recalques na TABELA 36 foram considerados valores de referência para a comparação com os valores obtidos com o SAND.

A TABELA 37 mostra a média dos recalques calculados para o nivelamento em que o SAND foi utilizado:

TABELA 37- RECALQUES SAND EM R1, R2 E R3

RECALQUES SAND (mm)			
ALVOS	R1	R2	R3
1	3,70	7,75	11,45
2	2,80	0,19	2,63
3	2,70	6,41	9,13
4	8,00	6,30	14,30
5	5,99	7,64	13,63
6	14,28	14,01	28,30

FONTE: O AUTOR

E finalmente, a TABELA 38 mostra as diferenças entre os recalques calculados para os dois métodos:

TABELA 38- DIFERENÇA ENTRE OS RECALQUES DETERMINADOS NO NIVELAMENTO CONVENCIONAL E OS RECALQUES DETERMINADOS COM O SAND

DIFERENÇAS ENTRE RECALQUES (mm)			
ALVOS	R1	R2	R3
1	0,36	0,33	-0,03
2	-2,84	-0,19	-2,67
3	0,18	0,00	0,16
4	-0,01	0,10	0,09
5	-0,17	0,20	0,03
6	0,12	0,09	0,20

FONTE: O AUTOR

O alvo 2 não teve sua posição alterada durante todo o levantamento realizado. Isto foi feito para verificação de oscilação do nível digital com o uso do SAND. Constatou-se uma variação de quase três milímetros entre os recalques

determinados, sendo que o previsto seria um valor com ordem de grandeza bem próximo de zero.

A variação entre os recalques calculados dos dois métodos foi da ordem do décimo do milímetro, para menos, mostrando forte consistência entre os dados obtidos com o nivelamento tradicional e com o nivelamento utilizando o SAND.

Assim como nos testes para verificação da influência da iluminação nos alvos, recorreu-se as inferências estatísticas para testar se há uma diferença significativa entre as variâncias  $\sigma_1^2$  (variância relativa ao SAND) e  $\sigma_2^2$  (variância relativa ao nivelamento convencional). As tabelas a seguir (39 a 54) mostram os resultados:

TABELA 39- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R1 NO ALVO 1

ALVO 1/ R1	$\sigma_1^2$ (m)	$\sigma_2^2$ (m)
	0,0000000044444444	0,0000000048888889
GR. LIBER.	9	9
F	0,909090909	PASSOU
F $\alpha/2$	4,0260	
1- F $\alpha/2$	0,248	

FONTE: O AUTOR

TABELA 40- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R1 NO ALVO 2

ALVO 2/ R1	$\sigma_1^2$ (m)	$\sigma_2^2$ (m)
	0,0000000308823529	0,0000000075402299
GR. LIBER.	17	29
F	4,095677905	NÃO PASSOU
F $\alpha/2$	2,2730	
1- F $\alpha/2$	0,398	

FONTE: O AUTOR

TABELA 41- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R1 NO ALVO 3

ALVO 3/ R1	$\sigma_1^2(m)$	$\sigma_2^2(m)$
	0,0000000019444444	0,0000000017777778
GR. LIBER.	8	9
F	1,09375	PASSOU
F $\alpha/2$	4,1020	
1- F $\alpha/2$	0,23	

FONTE: O AUTOR

TABELA 42- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R1 NO ALVO 4

ALVO 4/ R1	$\sigma_1^2(m)$	$\sigma_2^2(m)$
	0,0000000000000000	0,0000000010000000
GR. LIBER.	9	9
F	0	NÃO PASSOU
F $\alpha/2$	4,0260	
1- F $\alpha/2$	0,248	

FONTE: O AUTOR

TABELA 43- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R1 NO ALVO 5

ALVO 5/ R1	$\sigma_1^2(m)$	$\sigma_2^2(m)$
	0,0000000069642857	0,0000000040000000
GR. LIBER.	7	9
F	1,741071429	PASSOU
F $\alpha/2$	4,1970	
1- F $\alpha/2$	0,207	

FONTE: O AUTOR

TABELA 44- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R1 NO ALVO 6

ALVO 6/ R1	$\sigma_1^2(m)$	$\sigma_2^2(m)$
	0,0000000111111111	0,0000000000000000
GR. LIBER.	8	9
F	#DIV/0!	NÃO PASSOU
F $\alpha/2$	4,1020	
1- F $\alpha/2$	0,23	

FONTE: O AUTOR

TABELA 45- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R2 NO ALVO 1

ALVO 1/ R2	$\sigma_1^2(m)$	$\sigma_2^2(m)$
	0,0000000027777778	0,0000000017777778
GR. LIBER.	9	9
F	1,5625	PASSOU
F $\alpha/2$	4,0260	
1- F $\alpha/2$	0,248	

FONTE: O AUTOR

TABELA 46- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R2 NO ALVO 3

ALVO 3/ R2	$\sigma_1^2(m)$	$\sigma_2^2(m)$
	0,0000000025000000	0,0000000032222222
GR. LIBER.	8	9
F	0,775862069	PASSOU
F $\alpha/2$	4,1020	
1- F $\alpha/2$	0,23	

FONTE: O AUTOR

TABELA 47- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R2 NO ALVO 4

ALVO 4/ R2	$\sigma_1^2(m)$	$\sigma_2^2(m)$
	0,000000000000000000	0,0000000010000000
GR. LIBER.	9	9
F	0	NÃO PASSOU
F $\alpha/2$	4,0260	
1- F $\alpha/2$	0,248	

FONTE: O AUTOR

TABELA 48- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R2 NO ALVO 5

ALVO 5/ R2	$\sigma_1^2(m)$	$\sigma_2^2(m)$
	0,0000000078571429	0,0000000026666667
GR. LIBER.	7	9
F	2,946428571	PASSOU
F $\alpha/2$	4,1970	
1- F $\alpha/2$	0,207	

FONTE: O AUTOR

TABELA 49- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R2 NO ALVO 6

ALVO 6/ R2	$\sigma_1^2(m)$	$\sigma_2^2(m)$
	0,0000000186111111	0,0000000000000000
GR. LIBER.	8	9
F	#DIV/0!	NÃO PASSOU
F $\alpha/2$	4,1020	
1- F $\alpha/2$	0,23	

FONTE: O AUTOR

TABELA 50- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R3 NO ALVO 1

ALVO 1/ R3	$\sigma_1^2(m)$	$\sigma_2^2(m)$
	0,0000000027777778	0,0000000017777778
GR. LIBER.	9	9
F	1,5625	PASSOU
F $\alpha/2$	4,0260	
1- F $\alpha/2$	0,248	

FONTE: O AUTOR

TABELA 51- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R3 NO ALVO 3

ALVO 3/ R3	$\sigma_1^2(m)$	$\sigma_2^2(m)$
	0,0000000010000000	0,0000000010000000
GR. LIBER.	9	9
F	1	PASSOU
F $\alpha/2$	4,0260	
1- F $\alpha/2$	0,248	

FONTE: O AUTOR

TABELA 52- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R3 NO ALVO 4

ALVO 4/ R3	$\sigma_1^2(m)$	$\sigma_2^2(m)$
	0,0000000000000000	0,0000000000000000
GR. LIBER.	9	9
F	#DIV/0!	NÃO PASSOU
F $\alpha/2$	4,0260	
1- F $\alpha/2$	0,248	

FONTE: O AUTOR

TABELA 53- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R3 NO ALVO 5

ALVO 5/ R3	$\sigma_1^2(m)$	$\sigma_2^2(m)$
	0,0000000093333333	0,0000000048888889
GR. LIBER.	9	9
F	1,909090909	PASSOU
F $\alpha/2$	4,0260	
1- F $\alpha/2$	0,248	

FONTE: O AUTOR

TABELA 54- TESTE DE VARIÂNCIA PARA O RECALQUE R3 NO ALVO 6

ALVO 6/ R3	$\sigma_1^2(m)$	$\sigma_2^2(m)$
	0,0000000119444444	0,0000000000000000
GR. LIBER.	8	9
F	#DIV/0!	NÃO PASSOU
F $\alpha/2$	4,1020	
1- F $\alpha/2$	0,23	

FONTE: O AUTOR

Os resultados obtidos para verificar se existem diferenças significativas entre as variâncias dos recalques calculados mostram que mais de dois terços destes tiveram a hipótese nula  $H_0$  aceita, ou seja, os recalques foram determinados com mesma precisão. O alvo 6 (o mais afastado do nível, a uma distância de aproximadamente 13,55 metros) em suas diferentes posições verticais, não passou em nenhum teste estatístico. O alvo 4, apenas na simulação R2 não passou no teste.

Outra análise pode ser feita em cima das variações dos recalques calculados tendo como base as precisões estipuladas pelo IBGE para nivelamentos geométricos de 1° ordem. Segundo o IBGE, para nivelamentos geodésicos de 1° ordem a precisão deve ser melhor que  $2mm\sqrt{k}$ . A maior distância é em relação ao alvo 6, de 13,66 metros. Logo, se valendo deste critério, as variações encontradas

para a grande maioria das diferenças entre os recalques calculados estão dentro da precisão do método que neste caso seria de 0,23 milímetros.

## **4 CONSIDERAÇÕES, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

### **4.1 CONCLUSÕES**

O motor de passo responsável pelo movimento micrométrico horizontal do nível apresentou inconsistências. As medidas dos passos que o motor realiza não são iguais, o que comprometeu de certa forma os levantamentos realizados no que tange a pontaria dos alvos. Porém, o motor de passo não interferiu de forma significativa na estabilidade (calagem) do nível digital, não comprometendo a atuação do compensador;

O SAND pode não conseguir efetuar pontarias nos alvos caso em que as linhas de visada sejam muito longas, devido à configuração do motor utilizado. Nos alvos 5 e 6, mais afastados do nível, houveram dificuldades em realizar a pontaria;

Para pequenas diferenças de focalização entre os alvos, o sistema polia/roldana do SAND apresentou resultados satisfatórios. Para grandes diferenças de focalização entre os alvos o sistema apresentou pequenas perdas de focalização da imagem. Isto pode ser devido à falta de atrito adequado entre a roldana e o parafuso de focalização ou inconsistência do motor de passo.

O SAND mostrou-se, de uma forma geral, bastante eficiente em leituras com pouca iluminação. Em ambientes com escuridão total e com o auxílio de uma lanterna iluminando o alvo, o equipamento respondeu bem as leituras até uma distância de 1,50 metros entre o alvo e a lanterna. Vale como sugestão a construção de um suporte junto ao alvo de interesse para iluminação ou acoplar ao sistema de

automação do nível uma fonte iluminadora para auxiliar nas observações durante o período noturno;

As comparações entre os recalques calculados do Nivelamento Geométrico Convencional e do Nivelamento Geométrico com o uso do SAND apresentaram resultados bastante semelhantes, variando na casa do décimo do milímetro. As precisões das leituras obtidas com o SAND foram da ordem de décimos de milímetros ou superiores, assim como as precisões obtidas no nivelamento convencional. Os valores determinados foram submetidos a testes de hipóteses para verificar a igualdade de precisão de ambos os métodos e a maior parte dos resultados passou no teste estatístico. Pelas normas do IBGE, a variação da grande maioria dos dados oscilou dentro do limite da precisão do método.

De uma forma geral, o SAND apresentou resultados significativos no que diz respeito à qualidade das leituras obtidas. O braço mecânico do sistema, o DAMP, não comprometeu de maneira significativa, mas deve passar por manutenção para permitir ao sistema trabalhar em quaisquer distâncias angulares.

## 4.2 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se a continuidade da pesquisa para refinar a medida do passo utilizado para grandes distâncias, uma vez que o alvo fica menor nestas circunstâncias.

Fica como sugestão o desenvolvimento de um sistema para comunicação e suporte com qualquer nível digital.

Ainda sobre o software, sugere-se a implantação de algoritmo que permita o cálculo dos desníveis entre os alvos em tempo real, para análises em campo, mostrando ao usuário os resultados em sua interface gráfica, permitindo um monitoramento mais eficiente.

## REFERÊNCIAS

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

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 6122: Projeto e Execução de Fundações**. Rio de Janeiro. 2010.

AKSAMITAUSKAS, V. C.; REKUS, D.; GINIOTIS, V. **Application of Digital Automatic Levels and Impact of their Accuracy on Construction measurements**. In: 25° International Symposium on Automation and Robotics in Construction. Vilnius, Lituânia. 2008.

AKSAMITAUSKAS, V. C.; REKUS, D.; GINIOTIS, V. **Investigation of Error Sources Measuring Deformations of Engineering Structures by Geodetic Methods** In: 10° International Conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques. Vilnius, Lituânia. 2010.

ANDOLFATO, S. H. D. **Sistema de Automação de Nível Digital**. Tese (Doutorado)-Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba,PR, 2010.

ANGERER-CPS. **Motorised Digital Levelling Instrument**. Disponível em : [http://www.angerer-cps.com/pdf/digi\\_niv\\_uk.pdf](http://www.angerer-cps.com/pdf/digi_niv_uk.pdf), acesso em 12/03/2015.

ANGNES, D. L. **Introdução ao microcontrolador BASIC Step**. Santa Cruz do Sul, RS, 2003.

ARDUINO. Disponível em <<http://arduino.cc/en/Reference/HomePage>>. Acesso em: 17/10/2014.

BRASIL, **Ministério do Exército, estado Maior do Exército**, Manual Técnico – Serviço Geográfico. Nivelamento Geométrico. 1975.

BRUM, E. V. P. **Verificação e Classificação de Níveis de acordo com as Normas Internacionais**. Dissertação (Mestrado)- Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2005.

BUENO, R. **Monitoração Geodésica de Estruturas**. 2000. Disponível em: <http://mundogeo.com/blog/2000/01/01/monitoracao-geodesica-de-estruturas/>, acesso em 06/09/2014.

CINTRA, José Carlos A.. **Fundações em Solos Colapsíveis**. Serviço Gráfico da EESC/USP, 116p. São Carlos, 1998.

CHAVES, J. C. **Controle de Deformações em Barragens: Métodos de Monitoramento e Viabilidade de Utilização do GPS**. São Paulo. 1994. 197f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

CORRÊA, C. P. **Metodologia Para Controle de Recalques em Estruturas de Concreto Armado por meio de Nivelamento Geométrico de Precisão**. Dissertação (Mestrado)- Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2012.

DALMOLIN, Q. **Ajustamento por Mínimos Quadrados**. 2º edição. Curitiba, 2004.

DEPARTMENT OF ARMY – U. S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. Manual 1110-1-1004 **Deformation Monitoring and Control Surveying**. Washington, DC, 1994.

DEPARTMENT OF ARMY – U. S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. Manual 1110-1-1005 **Control and Topographic Surveying**. Washington, DC, 2007.

FABRICIO, M.M. ; ROSSIGNOLO, J. A. **Tecnologia das Construções II**. Notas de aula. São Carlos. USP, sd.

FAGGION, P. L. **Contribuição para a Implantação de um Sistema de Aferição de Miras na Universidade Federal do Paraná**. Dissertação (Mestrado)- Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 1993.

FAGGION, P. L. **Considerações sobre a Instrumentação Topográfica**. Notas de aula. Curitiba: Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná- Campus II – Centro Politécnico, 55p, 2011.

FAGGION, P. L., VEIGA, L. A. K., ZANETTI, M. A. **Apostila do Curso de Especialização em Geotecnologias**. Curitiba, 2007. 274 f. Apostila. Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná.

GAGG, G. **Auscultação Gravimétrica na região da Barragem Bento Munhoz da Rocha**. Dissertação (Mestrado)- Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 1997.

GASSNER, G. ; RULAND, R. ; BRENDAN, D. **Investigation of Digital Levels at the SLAC Vertical Comparator**. *In*: 8th International Workshop on Accelerator Alignment (IWAA). Genebra, Suíça, 2004.

GEMAEL, C. **Geodésia Elementar**. UFPR, Curitiba, 1959.

GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas**. UFPR, Curitiba, 1994.

GRAÇA, N. L. S. DE S. **Validação de Deslocamentos Relativos em Obras de Engenharia Obtidos com Técnica Geodésica e Instrumentação de Segurança e Inspeção**. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2014.

GRANEMANN, D. C. **Estabelecimento de uma Rede Geodésica para o Monitoramento de Estruturas: Estudo de Caso na Usina Hidrelétrica Salto Caxias**, Dissertação (Mestrado). Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2005.

GROOVER, M. P. **Automation, Production Systems and Computer-Integrated Manufacturing**. Prentice Hall, New Jersey, 1987.

GUERRA, M. J. ; DONAIRE, D. **Estatística Indutiva: teoria e aplicações**. LCTE, São Paulo, 1982.

HOLTZ, R. D. (1991). **Stress distribution and settlement of shallow foundations**. *In*: WINTERKORN, H. F; FANG, H. Y. (eds.). *Foundation engineering handbook*. New York: Ed. Van Nostrand Reinhold Co. Cap. 5

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Especificações e Normas para Levantamentos Geodésicos**. PR - 1983.

INGENSAND, H. **The Wild NA2000, the first digital level in the world**. AVN 6, June 1999, pp.201-210.

KHALIL, R. **Enlargement the Sighting Distance of Sokkia Digital Level SDL30**. In: Strategic Integration of Surveying Services, FIG Working Week 2007, Hong Kong SAR, China, 13-17 May 2007.

KHAMEN, H.; FAIG, W. **Surveying**. Ed. Walter de Gruyter. Berlin, 1988.

KRELLING, P. C. L. **Concepção de um Inclinômetro Foto-Mecânico para Controle Geodésico de Estruturas**. Tese (Doutorado)- Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2006.

KUANG, S. **Geodetic Network Analysis and Optimal Design: Concepts and Applications**. Ed. Ann Arbor Press. Michigan, 1996.

LEICA. **Informe Técnico de los niveles digitales NA2002 e NA3003**. Informe técnico, Leica, 2003.

LEITE, B. H. F. C.; LIMA, E. J. C; LEÃO, F. L.; PRESTES, R. F. **Estudo do motor de passo e seu controle digital** (2003). Disponível em: [http://recreio.gta.ufpr.br/grad/01\\_1/motor/](http://recreio.gta.ufpr.br/grad/01_1/motor/), Acesso em: 14/11/2014.

LENARTOVICZ, I. R. **Avaliação da Potencialidade do Laser scanner Terrestre no Monitoramento de Estruturas: Estudo de Caso UHE Maua**. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2013.

MATTO, M.; RAGAZZI, R. **Monitoramento de Estruturas Usando o Geomos**. Trabalho de Conclusão de curso. Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2013.

MEDEIROS, Z. F. **Considerações sobre a metodologia de levantamentos altimétricos de alta precisão e propostas para a sua implantação**. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 1999.

MILITITSKY, J.; CONSOLI, N.C.; SCHNAID, F. **Patologia das Fundações**. São Paulo: Oficina de textos, 2008.

MIRANDA, F. D. A. **Metodologia para o Monitoramento de Pontos em Áreas Instáveis Empregando-se Estações Totais**. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2007.

MIRANDA, F. D. A. **Monitoramento Topográfico em Tempo Real com a Utilização de um Sistema Semi-Automatizado**. Tese (Doutorado). Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2012.

MORAES, C. C.; CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de automação industrial**. 2ª edição. LTC, Rio de Janeiro, 2007.

MUGUIO, M. R. **Implantação e Análise da Estação GNSS para o Monitoramento Contínuo da Barragem da Usina Hidrelétrica de Mauá**. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2012.

NADAL, M. A. D. **Controle e operação de estações totais robotizadas voltado à auscultação geodésica**. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2008.

NEVES, R. V. **Processamento e Análise de Levantamentos Geodésicos Aplicado ao Monitoramento de Estruturas Civas**. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2008.

NEVES, R. V. ; FAGGION, P. L. **Redes Geodésicas Aplicadas no Monitoramento de Estruturas Civas, Estudo de Caso da Usina Hidrelétrica de Salto Caxias**. In: II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife. PE. 2008.

NOAA. **Standarts & Requerements For Leveling**. Disponível em: [http://www.ngs.noaa.gov/FGCS/tech\\_pub/Fgcsvert.v41.specs.pdf](http://www.ngs.noaa.gov/FGCS/tech_pub/Fgcsvert.v41.specs.pdf) . Acesso em: outubro, 2014.

PAREDE, M. I. ; GOMES, L. E. L. **ELETRÔNICA Automação Industrial**. São Paulo, Fundação Padre Anchieta, 2011.

PELLEGRINELLI, A. ; FURINI, A. ; BONFÈ, M. ; RUSSO, P. **Motorised Digital levels: Development and Applications**. Survey Review, vol 45, No. 330. 2013.

SALOMÃO, T. S.; FAGGION P. L. **Determinação de recalque em estruturas utilizando níveis digitais e estações totais**. In: II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife. PE. 2008.

SCHNEIDER, F., DIXON, D. **The New Leica Digital Levels DNA03 and DNA10**. In: Fig XXII International Congress. Washington, D.C. USA, 2002.

SELEME, R., SELEME, R. B. **Automação da Produção**. 2º edição. Ibepe, Curitiba, 2011.

SIGUEL, R. A. **Monitoramento da Usina Hidrelétrica Mauá Utilizando Irradiação Tridimensional**. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2013.

SILVA, R. N. F. **Avaliação do Método de Nivelamento Trigonométrico, Técnica Leap-Frog, na Determinação de Recalque em Grandes Estruturas: Estudo de Caso para a U.H. de Mauá**. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2012.

SILVEIRA, João F. A. **Instrumentação e comportamento de fundações de barragens de concreto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2003.

SILVEIRA, P. R. da; SANTOS, W. E. **Automação e controle discreto**. São Paulo: Érica, 1998.

SKEMPTON, A. W. ; MACDONALD, D.H. **The Allowable Settlement of Buildings**. Proc. I.C.E. Vol. 5, pags. 775-777. 1956.

SOARES, W. C. **Análise de Recalque de Edifícios em Solos Melhorados com Estacas de Compactação**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2005.

SOLEXPERTS. **Motion-Controlled Leica and Zeiss Optical Digital Levels**. 2014. Disponível em : [www.soloexperts.com](http://www.soloexperts.com), acesso em 13/03/2015.

TAKALO, M.; ROUHIAINEN, P. **On system calibration of digital level**. 14th International conference on Engineering Surveying, Zurich, 15-19 Mars 2004a.

TOMINAGA, L. K. ; SANTORO, J. ; AMARAL, R. **Desastres Naturais: Conhecer para Prevenir**. Instituto Geológico, São Paulo, 2009.

TZAFESTAS, S. G. ; VERBRUGGEN, H. B. **Artificial Intelligence in Industrial, Decision Making, Control and Automation**. K.A.P., Dordrecht, 1995.

US ARMY CORPS OF ENGINEERS. **Structural Deformation Surveying, ENGINEER MANUAL**. Washington, DC., jun. 2002.

VEIGA, L. A. K. **Topografia Automatizada**. Curso de Especialização em Geotecnologias. UFPR, Curitiba, 2006.

VEIGA, L. A. K. **Sistema para mapeamento automatizado em campo: conceitos, metodologia e implantação de um protótipo**. 201p. Tese (Doutorado) -Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Transportes. Universidade de São Paulo, 2000.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. **Fundações: Critérios de projeto Investigação do subsolo Fundações superficiais**. Nova Edição. Oficina de Textos. Vol. 1. São Paulo, 2004

WOLF, P. R; GHILANI, C. D. **Elementary Surveying – An Introduction to Geomatics**. Pentrice Hall, 2002.

ZOCOLOTTI FILHO, C. A. **Utilização de Técnicas de Poligonação de Precisão para o Monitoramento de Pontos Localizados em Galeria de Inspeção. Estudo de casa da U.H. de Salto caxias**. Dissertação (Mestrado)- Curso de Pós Graduação

em Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2005.

Características do PS em:

<http://www.centraldoacrilico.com.br/index.php/produtos/chapas/poliestireno-standard-ps/>

acesso em 27/08/2014.

Nível digital Sokkia disponível em:

<http://www.sokkia.com>

acesso em: 04/02/2015

nível digital DL 102 disponível em:

<http://www.santiagoecintra.com.br>

acesso em: 04/02/2015

nível digital Sprinter disponível em:

http:// <http://www.leica-geosystems.com>

acesso em: 04/02/2015

## REFERÊNCIAS CONSULTADAS

GARCIA, F. D. **Topografia General y Agrícola**. Salvat Editores. Barcelona. 1953.

GARCIA, G. J. ; PIEDADE, G. C. R. **Topografia aplicada às ciências agrárias**. Nobel. São Paulo. 1984.

LEICA. **DNA03/DNA10 - Manual do Usuário**. Versão 1.2 – Português. 2004.

LIMA, S. F. **Topografia**. Instituto Federal do Amazonas. Manaus, 2012.

MOREIRA, A. S. B. **Nivelamento trigonométrico e nivelamento geométrico classe IIN da NBR 13.133: limites e condições de compatibilidade**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2003.

NADAL, C. A., VEIGA, L. A. K., FAGGION, P. L., FREITAS, S. R. C. DE, ZOCOLOTTI FILHO, C. A., GRANEMANN, D. C., LOPES, C. R., SANTOS, D. P.DOS. **Integração da Auscultação Geodésica com a Instrumentação de Controle e Segurança da Barragem de Salto Caxias**. Relatório Técnico, Universidade Federal do Paraná, 2004.

PAZOS, F. **Automação de sistemas e robótica**. Rio de Janeiro: Axcel Books do Brasil, 2002.

PALAZZO, D. R.; FILHO, M. L. S.; MOREIRA, A. R.; **A Utilização de Técnicas Geodésicas no Monitoramento de Estruturas Pré-Moldadas**. *In*: 1º Encontro Nacional de Pesquisa-projeto-produção em Concreto Pré-moldado, São Carlos, SP, 2005

PEREIRA, A. R. A.; **Uma Abordagem Metodológica para a Identificação, Representação e Monitoramento Geodésico de uma Encosta em Risco Natural**. Dissertação (mestrado)- Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2008.

SANTOS, V. O. ; DAL'FORNO, G. L. ; CORDERO, M. O. ; DOS SANTOS, C. R. **Controle de Deslocamentos Verticais ,Uniformes ou Diferenciais, de Estruturas por Nivelamento Geométrico.** *In:* XVI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Porto de Galinhas. PE. 2012.

SUCI, F. M. **Estudo Sobre a Estabilidade da Rede Geodésica de Monitoramento da Usina de Salto Caxias.** Dissertação (Mestrado). Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2012.