SILVIO HENRIQUE DELLESPOSTE ANDOLFATO

SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DE NÍVEIS DIGITAIS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências Geodésicas.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Luis Faggion

CURITIBA
2010

Andolfato, Silvio Henrique Dellesposte
Sistema de automação de níveis digitais / Silvio Henrique Dellesposte Andolfato. - Curitiba, 2010.
105 f. : il., color., tabs.

Orientador: Pedro Luis Faggion
Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas.

1. Automação. 2. Redes (Geodésia). 3. Referência de nível. 4. Nivelamento. I. Faggion, Pedro Luis II. Título. III. Universidade Federal do Paraná.

CDD 526.36

TERMO DE APROVAÇÃO

SILVIO HENRIQUE DELLESPOSTE ANDOLFATO

"SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DE NÍVEIS DIGITAIS "

Tese nº 71 aprovada como requisito parcial do grau de Doutor 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 Luís Faggion
Departamento de Geomática, UFPR

Prof. Dr. Tarcisio Ferreira da Silva
Universidade Federal de Pernambuco, UFPE

Eng. Dr. Sandro Reginato Soares de Lima
DSK – Engenharia e Consultoria Ltda.

Profª. Drª. Regiane Dalazoana
Departamento de Geomática, UFPR

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

Prof. Dr. Carlos Aurélio Nadal
Departamento de Geomática, UFPR

Curitiba, 27 de agosto de 2010.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente ao maior Geodesista de todos, Deus, o Criador de todas as coisas (Gn 1:1), aquele que enviou seu Filho – Jesus Cristo - para nos salvar. A Ele, toda a Honra e toda a Glória.

À 'Turminha dos Andolfatos': Belmary, Henrique, Gabriel, Ana Elisa e Davi, pelo apoio e paciência nesta conquista. Amo vocês !

Ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas – CPGCG, da UFPR, pela oportunidade.

Ao Prof. Dr. Pedro Luis Faggion, pela amizade, disposição e orientação nesta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Luis Augusto Koenig Veiga, pela amizade e sugestões importantes ao desenvolvimento do trabalho.

Ao Prof. Dr. Carlos Aurélio Nadal, pela amizade, pelas conversas e sugestões ao trabalho.

As professoras Dra. Claudia Robbi Sluter e Dra. Claudia Pereira Krugger, pela conversa inicial quando do meu ingresso ao CPGCG.

Ao Prof. Dr. Silvio Rogério Correa Freitas, pela amizade e pelas conversas sobre Geodésia, pela oportunidade da participação em projetos de gravimetria.

Ao Prof. Dr. Quintino Dalmolin, pela amizade, por ser sudoestino e apoio dispensado.

Ao Prof. Dr. Luis Danilo Damasceno Ferreira, pela amizade e pela disciplina de Tópicos Especiais.

A todos os professores do programa, que direta ou indiretamente contribuíram na minha formação.

À Mônica, nossa querida secretária, pela amizade e excelente atendimento neste período que esteve conosco.

Aos alunos do CPGCG, queridos amigos e amigas, pela amizade e convívio.

Aos bolsistas do LAIG, pelo início dos trabalhos no microprocessador.

À empresa AVR Instrumental Ltda., pela disposição e apoio na confecção do DAMP.

À UTFPR – campus Pato Branco, amigos e colegas da Coedi, pela oportunidade.

À Dona Carmem, minha querida sogra, pelas orações, apoio e paciência.

À minha família em Jaú – Sandra, Barba, Kleber, Cinthia, Selma, Marcos, Marco Aurélio, Beatriz, Sócrates, Débora e "Aramisinho", pelo apoio e torcida.

Ao Cesão, Shyrlei, Andressa e toda família, pela hospedagem no início do trabalho.

Ao Zé, Mara, Jônatas e Juliano, pelas orações e apoio.

À turma do ' Sistema Brutus' – Lima, Taia, Matheus e Marília, Rafa, pelo apoio e torcida.

Ao Dílson, Sylvia, Neto e família, pela torcida e apoio.

Aos tios Gil, Glacy e família, pela torcida e apoio.

Aos Prs. Valdir Cardoso Garcia e Elenice, pelas orações e cobertura espiritual.

À Comunidade Cristã Vida para os Povos – Prs. Eliseo Batiston e Clotilde Batiston, todos os irmãos em Cristo Jesus, em especial aos irmãos da célula.

Ao Pr. Gilberto Benedito Lima e Comunidade Cristã Vida, pelas orações.

Aos irmãos: Gerson, Ana Leão, Tomas, Sandrinha, Matias, Cris, Paulo, Daniel, Dayse, Úrsula, Ana klava, Daniela, Magda, Vagner, Vivi, Nicole, Cléo, Antonela, e aos demais irmãos da célula da PIB, meus sinceros agradecimentos, pelas orações e apoio.

Ao Isuru Yamamoto, amigo, colega, pelo apoio, pela hospedagem neste período.

Ao João Cortes, amigo, colega, que está no mesmo "barco".

Dedico este trabalho ao meu salvador 'Jesus', que com o Espírito Santo, ajudou-me muito na finalização deste trabalho.

Aos meus queridos pais, Aramis e Mafalda, que com a benção de Deus, colocaram-me no mundo e me dispuseram os primeiros ensinamentos (in memorian).

À Minha Família, Minha Esposa, Belmary, meus filhos, Henrique, Gabriel, Ana Elisa e Davi.

Mas em todas estas coisas somos mais do que vencedores, por aquele que nos amou.

(Romanos 8:37)

RESUMO

O nivelamento geométrico é uma das técnicas geodésicas mais antigas e precisas para determinação de desnível. Sua principal aplicação é na determinação de redes geodésicas de primeira ordem e diversas áreas da engenharia, como por exemplo, no monitoramento de estruturas, tais como: pontes, edifícios, barragens entre outros. A evolução da microeletrônica atingiu os instrumentos geodésicos com a criação e posterior total automação das estações totais (robotização). Já os níveis geodésicos não sofreram nenhuma automação do seu movimento horizontal, geral ou micrométrico, porém já se tem notícias da automação do sistema de focalização da imagem da mira. Este trabalho propõe um Sistema de Automação do Nível Digital (SAND), para o manuseio do nível digital DNA03 (Leica). Esta automação consiste em um sistema que automatiza as funções, movimento geral e micrométrico horizontal e focalização da imagem, através da acoplagem de motores de passo, tanto para o giro horizontal (azimutal) como para a focalização dos alvos de interesse (miras com código de barras). Estes movimentos são controlados por um *software* específico, desenvolvido nesta pesquisa e comandados por um PC, neste caso um notebook. Realizou-se também o projeto e a confecção do Dispositivo de Adaptação dos motores de Passo (DAMP) ao instrumento, comandados por uma Placa Microcontrolada para Comando dos Motores de Passo (PMCMP), através de um software em linguagem VB (SAMN – v1). Os testes realizados demonstram que é possível utilizar o sistema para a obtenção de leituras de alvos instalados em pontos de interesse, estrutura que se deseja monitorar, por repetidas vezes, podendo ser empregado no monitoramento do deslocamento de pontos ao longo do tempo.

Palavras-chave: nível digital; motor de passo; sistema de automação.

ABSTRACT

The oldest method and correct for Determination of Ascent is the leveling geometric. The main application is in the determination of geodetic networks of first-rate and various fields of engineering, such as monitoring of structures such as bridges, buildings, dams and others. The evolution of microelectronics has reached with the creation of geodetic instruments and then the total automation of “total stations” (robotics). However, levels geodesic suffered no automation of its horizontal movement, general or micrometer, but there are a news in the automation of focus image of staff. This work offers an Automation System-Level Digital (SAND), to manage the DNA03 digital level (Leica). This automation is a system that automates the functions, general movement and micrometer horizontal and focusing the image through the coupling of stepper motors for both rotating horizontal (azimuth) and for the targeting of targets of interest (crosshairs with code bars). These movements are controlled by specific software, developed in this research and controlled by a PC, in this case a notebook. There was also the design and manufacture of the Device of Adaptation of Stepper Motors (DAMP) to the instrument, controlled by a Plaque Microcontroller to Control Stepper Motors (PMCMP) through a software in VB language (SAMN - v1). The tests showed that it is possible to use the system to obtain readings targets installed at points of interest structure that wants to monitor, by repeatedly and can be used for monitoring the displacement of points over time.

Keywords: digital level, stepper motor, automation system.

LISTA DAS FIGURAS

FIGURA 1 - Esquema do nível digital..... 33
FIGURA 2 - O princípio do processo eletrônico unidimensional de imagens digitais..... 35
FIGURA 3 - A informação transferida ao nivelamento digital..... 36
FIGURA 4 - Sequência do procedimento de medição..... 37
FIGURA 5 - Esquema de formatação da palavra..... 39
FIGURA 6 - Tipos de formatos: básico, *rise and fall*, lista, respectivamente..... 40
FIGURA 7 - Esquema de um motor de passo unipolar..... 45
FIGURA 8 - Esquema de enrolamentos dos motores de passo..... 46
FIGURA 9 - Esquema dos movimentos com passo inteiro..... 47
FIGURA 10 - Sequência de alimentação das bobinas dos motores..... 47
FIGURA 11 - Esquema dos movimentos com meio-passo..... 48
FIGURA 12 - Níveis digitais utilizados, NA3003 e DNA03..... 51
FIGURA 13 - Detalhe da mira de ínvar com código de barras com a fita milimetrada..... 52
FIGURA 14 - Anteparos utilizados para cobrirem o código de barras..... 52
FIGURA 15 - Detalhe do micrômetro para focalização da imagem com graduação..... 53
FIGURA 16 - Esquema ilustrativo da disposição dos alvos (miras)..... 54
FIGURA 17 - Interferômetro a laser utilizado (LAIG/UFPR)..... 55
FIGURA 18 - Detalhe da leitura realizada no interferômetro a laser..... 56
FIGURA 19 - Nivelamento da bolha (a) e leituras: inicial (b) e final (c)..... 57
FIGURA 20 - Detalhe do desenho do alvo feito no Autocad R14..... 61
FIGURA 21 - Detalhe da comparação entre o alvo construído e a mira original..... 61
FIGURA 22 - Disposição dos alvos no LAIG: Ré (a) , Vante 1 (b) e Vante 2 (c)... 63
FIGURA 23 - Motores de passo utilizados..... 64
FIGURA 24 - Esquema inicial do dispositivo..... 65
FIGURA 25 - Visão geral do DAMP..... 66
FIGURA 26 - DAMP – detalhe 1 – suporte do DAMP..... 67
FIGURA 27 - DAMP – detalhe 2 - base giratória..... 67

FIGURA 28 - DAMP – detalhe 3 - eixo principal..... 68
FIGURA 29 - DAMP – detalhe 4 – suporte do motor do foco..... 68
FIGURA 30 - DAMP – detalhe 5 – base do motor do foco..... 69
FIGURA 31 - DAMP – detalhe 6 – polia do motor do foco..... 69
FIGURA 32 - DAMP – detalhe 7 – base do eixo principal..... 70
FIGURA 33 - DAMP – detalhe 8 – guia da base giratória..... 70
FIGURA 34 - DAMP – detalhe 9 – engrenagens e correia..... 71
FIGURA 35 - DAMP – detalhe 10 – montagem final..... 71
FIGURA 36 - Detalhes das etapas de confecção do DAMP..... 72
FIGURA 37 - Detalhes dos serviços de tornearia mecânica para a confecção do DAMP..... 72
FIGURA 38 - Esquema do *driver* AKDMP5-17A..... 73
FIGURA 39 - Largura do pulso..... 74
FIGURA 40 - Sinais de entrada..... 74
FIGURA 41 - Terminais de ligação de saída..... 74
FIGURA 42 - Esquema de motor com 4 fios..... 75
FIGURA 43 - Esquema de motor com 6 fios..... 75
FIGURA 44 - Esquema de motor com 8 fios..... 76
FIGURA 45 - Esquema de ligação dos motores de passo de 4 e 8 fios..... 76
FIGURA 46 - Dimensões do Driver AKDMP5-1.7A..... 77
FIGURA 47 - Detalhe da placa microcontroladora..... 77
FIGURA 48 - Esquema da pinagem do microcontrolador ATMEGA 168..... 79
FIGURA 49 - Detalhe da tela do *software* Arduino..... 80
FIGURA 50 - Detalhe da tela principal do *software* SAMN..... 81
FIGURA 51 - Fluxograma do *software* SAMN..... 82
FIGURA 52 - Detalhe do relatório das observações realizadas..... 84
FIGURA 53 - Gráfico do intervalo na mira necessário em função das distâncias nível-mira..... 88
FIGURA 54 - Visada realizada sem a focalização dos fios estadimétricos..... 89
FIGURA 55 - Visada realizada com a perfeita focalização dos fios estadimétricos 89
FIGURA 56 - Esquema da visada e o ângulo do campo de visão de 2°..... 90
FIGURA 57 - Detalhe do campo de visão de 1°..... 90
FIGURA 58 - Visão geral do SAND..... 93

FIGURA 59 - Nível digital utilizado..... 93
FIGURA 60 - Detalhe do DAMP..... 94
FIGURA 61 - Detalhe da base nivelante e adaptador..... 94
FIGURA 62 - *Drive*r utilizado..... 95
FIGURA 63 - Placa microcontroladora – PMCMP..... 95
FIGURA 64 - *Software* SAMN – versão 1.0 96
FIGURA 65 - *Notebook* utilizado..... 96
FIGURA 66 - Fonte de energia 24 V..... 97
FIGURA 67 - Detalhe da fixação do motor para o ajuste do foco..... 97
FIGURA 68 - Detalhe do arquivo gerado pelo SAND..... 98
FIGURA 69 - Diferenças de alturas encontradas..... 99

LISTA DAS TABELAS

TABELA 1 - Tipos de identificadores WI..... 39

TABELA 2 - Sequência dos elementos de códigos com suas espessuras($x10^{-3}$mm), da Mira Leica GWCL92 n^o 9117..... 58

TABELA 3 - Leituras realizadas no Interferômetro e diferenças encontradas ($x10^{-3}$mm)..... 59

TABELA 4 - Desníveis obtidos com os alvos confeccionados..... 62

TABELA 5 - Especificação técnica dos motores..... 64

TABELA 6 - Chaveamento de seleção das divisões do passo 74

TABELA 7 - Intervalo mínimo da mira para medição com os níveis..... 88

TABELA 8 - Movimento em graus do micrômetro para ajuste do foco dos níveis..... 89

TABELA 9 - Ângulos do campo de visão em função da visada..... 91

SUMÁRIO

1	-	**INTRODUÇÃO**.....	17
1.1	-	OBJETIVOS.....	18
1.1.1	-	Objetivo Geral.....	18
1.1.2	-	Objetivos Específicos.....	18
1.2	-	JUSTIFICATIVA.....	19
1.3	-	CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO.....	20
1.4	-	ESTRUTURA DA TESE.....	21
2	-	**REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**.....	22
2.1	-	AUTOMAÇÃO – ASPECTOS GERAIS.....	22
2.2	-	ROBÓTICA.....	24
2.3	-	EXEMPLOS DE APLICAÇÕES DE TÉCNICAS GEODÉSICAS NO MONITORAMENTO.....	27
2.4	-	NIVELAMENTO GEOMÉTRICO.....	30
2.5	-	NÍVEIS DIGITAIS.....	32
2.5.1	-	Nível Digital DNA03 e DNA10 – A nova geração da Leica.....	38
2.5.1.1	-	Generalidades.....	38
2.5.1.2	-	Formato dos dados Leica – *GSI Data Format*.....	38
2.5.1.3	-	Código de barras da mira.....	41
2.6	-	MOTORES DE PASSO.....	42
2.7	-	*DRIVER* DE POTÊNCIA.....	49
2.8	-	MICROCONTROLADORES.....	50
3	-	**METODOLOGIA**.....	51
3.1	-	DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DE NÍVEIS DIGITAIS – SAND.....	51
3.1.1	-	Definição do tamanho do alvo.....	51
3.1.2	-	Desenvolvimento do sistema de ajuste do foco.....	53
3.1.3	-	Construção dos Alvos.....	54

3.1.3.1 - Análise dos elementos do código..... 54
3.2 - COMPONENTES DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DE NÍVEL DIGITAL – SAND..... 63
3.2.1 - *Hardware*..... 64
3.2.1.1 - Motores de Passo..... 64
3.2.1.2 - Dispositivo de Adaptação dos Motores de Passo – DAMP..... 65
3.2.1.3 - *Driver* de potência..... 73
3.2.1.4 - Placa microcontrolada para comando dos motores de passo – PMCMP..... 77
3.2.2 - *Software* Sistema de Automação do Movimento do Nível – SAMN – versão 1..... 81
4 - RESULTADOS..... 88
4.1 - TESTES REALIZADOS COM OS NÍVEIS DIGITAIS E A MIRA 88
4.2 - APRESENTAÇÃO DO SAND..... 92
4.3 - TESTES REALIZADOS COM O SAND..... 98
5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... 100
5.1 - CONCLUSÕES..... 100
5.2 - RECOMENDAÇÕES..... 102
6 - REFERÊNCIAS..... 104

1 INTRODUÇÃO

No campo das engenharias, uma área que vem crescendo e necessitando de medições cada vez mais precisas e de pesquisas para o desenvolvimento de novas tecnologias é a Auscultação Geodésica. Esta área da Geodésia associada ao monitoramento de estruturas pode determinar e comparar as coordenadas de pontos em épocas distintas e verificar se, dentro de um certo nível de confiança, há variações significativas nestas coordenadas. O citado monitoramento pode ser realizado tanto em planimetria, altimetria ou em três dimensões. A quarta dimensão temporal abre a possibilidade de se monitorar quase continuamente ou em épocas espaçadas de intervalos que se adéquem no estudo dos fenômenos influentes sobre a estrutura estudada.

Métodos geodésicos adequados podem ser e em grande parte já estão sendo utilizados para o estudo e controle de deslocamentos nos mais diferentes tipos de estruturas, tais como: de instalações portuárias a grandes edificações; de máquinas industriais a pontes; de complexos atômicos a barragens. Na Auscultação Geodésica a identificação espacial das zonas/áreas alteradas é também uma grande questão de interesse, mas não tratada neste trabalho.

O controle de movimentos de estruturas é fundamental para manter a segurança das pessoas que estão direta ou indiretamente ligadas à obra, bem como auxiliar na prevenção de desastres, garantindo também que não haja prejuízos quanto aos investimentos, quer sejam públicos ou privados. Automatizar a Auscultação Geodésica permite eliminar a participação do operador e, desta forma, minimizar riscos aos atores envolvidos nas operações de medição de monitoramento, além de otimizar o processo e minimização de erros.

Para atingir a automação total dos procedimentos ligados à operação de nivelamento, fizeram-se necessários estudos preliminares sobre os princípios físicos de leitura com níveis digitais e de sua utilização no nivelamento geométrico de alta precisão uma vez que esta técnica continua sendo uma das mais utilizadas e precisas na determinação de movimentos verticais (recalques) em estruturas de grandes obras. Nestas obras, acidentes podem ocorrer,

colocando em risco a vida de pessoas, quer seja as envolvidas direta ou indiretamente com a obra, bem como aquelas que vivem próximas as mesmas.

Buscando evitar acidentes e, principalmente, disponibilizar uma ferramenta que possibilite a minimização de erros de observação em um tempo de execução menor, desenvolveu-se nesta pesquisa, um sistema cujo objetivo é automatizar o nível digital em termos do seu processo de coleta, processamento e análise de desníveis entre pontos de controle. Para tal, foi desenvolvido um sistema que acoplado ao nível geodésico digital DNA03, permite a automatização e com isso a obtenção dos desníveis desejados de forma isenta da influência humana nas leituras e com mais agilidade.

Neste trabalho, apresenta-se o projeto e execução da automação deste nível digital, com a acoplagem de motores de passo, tanto para o giro horizontal (azimutal) como para a focalização dos alvos de interesse (miras com código de barras). Apresenta-se também o *software* de gerenciamento do sistema comandado por um *notebook*.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver um Sistema de Automação do Nível Digital DNA03 – SAND.

1.1.2 Objetivos específicos

- Estudar o funcionamento geral dos níveis digitais;
- Verificar o tamanho mínimo do código de barras utilizado para a leitura da mira;
- Verificar o ajuste de foco necessário para a obtenção da leitura da mira;
- Analisar o padrão do código de barras para o instrumento DNA03, do fabricante Leica (equipamento disponível junto ao Laboratório de Instrumentação Geodésica - LAIG);

- Analisar o padrão do código de barra;
- Analisar o funcionamento de motores de passo, a serem empregados no sistema de movimentação do nível digital;
- Elaborar a programação necessária para comandar o movimento de motores a distância;
- Projetar e desenvolver uma plataforma com um sistema de engrenagens e polias para executar o movimento horizontal do nível e o sistema de focalização da imagem do código de barra;
- Desenvolver um *software* de comunicação para execução dos movimentos do nível digital, bem como para a obtenção e armazenagem das leituras dos alvos realizadas;
- Testar o sistema proposto realizando medições com o nível digital utilizando os alvos construídos.

1.2 JUSTIFICATIVA

Apesar do GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) e outras técnicas alternativas para determinação de altitudes, o nivelamento clássico tem mantido sua importância, especialmente no domínio do nivelamento científico e de alta precisão para a determinação de altitudes precisas e determinações de alturas em túneis (SCHNEIDER e DIXON, 2002).

Em trabalhos de nivelamento geométrico, realizados pela equipe de pesquisadores da UFPR, tais como os vinculados ao Projeto Integração da Auscultação Geodésica com a Instrumentação de Controle e Segurança da Usina de Salto Caxias, utilizando níveis digitais, trabalha-se a precisão de $0{,}5\text{mm}\sqrt{k}$, mostrando assim, a eficácia da utilização desses equipamentos em nivelamentos de alta precisão.

Além da aplicação em nivelamentos convencionais, os níveis digitais abriram uma dimensão nova no nivelamento geométrico, tendo um potencial para resolver problemas, tais como, o monitoramento estrutural, contínuo ou periódico, automatizado.

A necessidade frequente de monitoramento das estruturas de obras de engenharia tem conduzido à idéia de uma automação no nível digital, com focalização e movimento

horizontal automatizados, para observar contínua e automaticamente diversos alvos (miras que atuam como pontos de controle), incluindo os pontos de referência (estações), dentro de um ciclo de medição, para verificar a estabilidade desses pontos, dando subsídios para identificar possíveis deslocamentos nas estruturas dessas obras.

No caso de obras de engenharia, cujas estruturas estejam comprometidas, o monitoramento dessas obras pode evitar acidentes e prejuízos para toda a comunidade envolvida. Isso faz com que este trabalho tenha uma importância crucial para a sociedade como um todo.

Na literatura nacional não foram encontradas pesquisas abordando a automação de níveis digitais, o que poderá dar caráter pioneiro a este trabalho no país. Quanto à literatura internacional, encontram-se trabalhos de calibração do sistema de nivelamento digital, testes e experimentos com os níveis digitais, diferentes do escolhido para este trabalho, dando aí sua originalidade.

Em contato com o representante nacional dos equipamentos Leica, para se obter informações e sugestões sobre este trabalho, o mesmo informou que o fabricante não possui nenhuma proposição para este tipo de aplicativo aos níveis digitais, atribuindo ser este um trabalho pioneiro em relação ao nível digital DNA, o que dá um caráter inédito a esta pesquisa.

1.3 CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO

Tendo em vista os aspectos apresentados, a contribuição deste trabalho de doutorado é o desenvolvimento do sistema para automação dos níveis digitais e sua aplicação no monitoramento de estruturas.

Os tópicos do presente estudo são complexos e multidisciplinares, tendo sido realizado uma aplicação da robótica e microeletrônica dentro do contexto das Ciências Geodésicas, através do sistema de automação proposto.

Sendo assim, foca-se na presente pesquisa a automação do nivelamento geométrico aplicado à engenharia, contribuindo com o grupo Geodésia aplicada a engenharia, certificado pelo CNPq.

1.4 ESTRUTURA DA TESE

Inicialmente, discorre-se sobre o tema do trabalho, objetivo geral e objetivos específicos, bem como a justificativa e contribuições do trabalho. No segundo Capítulo, apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre o assunto, envolvendo os conceitos sobre automação; robótica; técnicas geodésicas; nivelamento geométrico; níveis digitais; processamento do sinal; código de barras mira; motores de passo; *driver e* microcontroladores. No terceiro Capítulo, apresenta-se especificamente a proposta concretizada neste trabalho que consiste em desenvolver um sistema de automação do Nível Digital DNA03 – SAND. No quarto Capítulo, apresenta-se o resultado, ou seja o experimento final da construção do SAND. No quinto Capítulo apresentam-se as conclusões e as recomendações para o sistema desenvolvido, já, na sequência estão enumeradas as referências bibliográficas, nas quais o presente estudo foi fundamentado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 AUTOMAÇÃO – ASPECTOS GERAIS

A palavra *automation* foi inventada pelo marketing da indústria de equipamentos na década de 1960. O neologismo, sem dúvida, buscava enfatizar a participação do computador no controle automático industrial. Atualmente, "entende-se por automação qualquer sistema, apoiado em computadores que substitua o trabalho humano e que vise soluções rápidas e econômicas para atingir os complexos objetivos das indústrias e dos serviços" (MORAES e CASTRUCCI, 2001, p. 15).

A necessidade de controlar processos deu origem às técnicas de controle que também não se constituem novidades nos tempos modernos. Segundo SILVEIRA e SANTOS (1998, p. 1) "a arte de controlar é tão antiga quanto às necessidades humanas de desenvolver seus próprios sentidos. Mesmo não dispondo de grandes tecnologias, o homem mantinha a qualidade em seus artefatos e desenvolvia projetos eficazes direcionados ao controle de suas exigências".

Os inventos produzidos pela humanidade sempre trouxeram, além da grande dúvida de suas consequências e impacto social, um estilo de vida decorrente de novos hábitos assumidos diante de novos desafios e necessidades. O homem sempre buscou simplificar seu trabalho de forma a substituir o esforço braçal por outros meios e mecanismos, para que seu tempo ficasse disponível para outros afazeres, dessa forma valorizando as atividades do intelecto, das artes, lazer, pesquisa ou simplesmente no gozo de novas formas de entretenimento (SILVEIRA e SANTOS, 1998).

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).

Quanto à evolução do controle industrial, com o decorrer das necessidades da própria evolução, foram desenvolvidas máquinas-ferramentas[1] com controle automático simples para executarem uma sequência simples de operação. “Em 1950, tais máquinas são comandadas por circuitos transistorizados e, em 1960, por computadores, passando a trabalhar segundo instruções codificadas que lhes são transmitidas por fita perfurada ou fitas magnéticas” (SILVEIRA e SANTOS, 1998).

A máquina-ferramenta foi aprimorada até a concepção do comando numérico – CN. Tais máquinas são comandadas numericamente e viabilizam a fabricação em pequenos e variados lotes, de peças com geometrias muito complexas por meio do recurso de programação eletrônica das sequências de usinagem. Este controle ocorreu no início da década de 1950, propiciando o desenvolvimento na indústria manufatureira, por meio de importante pesquisas desenvolvidas pelos institutos de tecnologia no mundo, como, por exemplo: projeto desenvolvido pelo Instituto de Tecnologia de Massachusetts – MIT – que usava uma fresadora de três eixos para demonstrar o protótipo de um comando numérico (SILVEIRA e SANTOS, 2004).

Automação compreende o uso de “controle de sistemas”, “comando numérico (CNC)”, “controladores lógicos programáveis (PLC)”, “informática (CAD, CAM, CAx)” para controlar maquinaria industrial e processos industriais, reduzindo a necessidade de intervenção humana (SOUZA, 2010, p. 2).

Simultaneamente às máquinas de controle numérico, foram desenvolvidos os robôs, palavra esta, derivada do inglês *Robot*, que possui sua origem na palavra tcheca robota, que significa “servidão ou trabalhador forçado”. Parte integrante da automação, a robótica se tornou uma das suas áreas mais fascinantes (KUHL, 2005). Historicamente, sempre se imprimiu aos robôs uma aparência humana, inspirada na ficção científica, em filmes, livros, peças teatrais, dentre outros. Tão logo os robôs adentraram as portas industriais, substitui-se essa visão popular por uma máquina de um só braço, operando, muitas vezes, em locais fixos e de aparência robusta (SILVEIRA e SANTOS, 1998).

[1] Máquinas-ferramentas, ou máquinas operatrizes, constituem-se artefatos que dão forma aos materiais por corte, esmerilamento, martelagem, furacão, torneamento, polimento, fresagem, soldagem, entre outros

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.

2.2 ROBÓTICA

Através dos séculos o homem tem buscado novas formas de melhorar os seus processos produtivos. A partir da segunda metade do século XX a tecnologia se desenvolveu e permitiu automatizar estes processos (SOUZA, 2010).

Foi na Tchecoslováquia em 1921 na apresentação de uma peça de teatro que tinha como título *Rossum´s Universal Robots - R.U.R*, escrita por Karel Capek que o termo robô foi inicialmente usado. “A palavra tcheca *robota* significa “trabalho forçado” e foi usado Robot no sentido de uma máquina substituir o trabalho humano” (KLOC; KOSCIANSKI; PILATTI, 2009, p. 4).

Os primeiros trabalhos em robótica de manipulação podem ser encontrados alguns anos após a segunda guerra mundial. Máquinas do tipo *Master-Slave* foram introduzidas e desenvolvidas para manipular materiais perigosos como os materiais radioativos (1940-1950), dentre os quais, cita-se: ‘*gantry-robot’* desenvolvido pela *General Mils Corporation* – USA 1950, o ‘*Planetbot 1957’* que foi o primeiro robô manipulador comercial com coordenadas polares e o robô desenvolvido por Norman Diedrich no *Instituto case da Western Reserve University* (Cleveland – USA) que foi o primeiro manipulador elétrico com juntas de revolução (PIRES, 2002).

“A robótica é uma ciência da engenharia aplicada que é tida como uma combinação da tecnologia de máquinas operatrizes e ciência da computação” (GROVER, 1988, p.23). A robótica pertence ao tipo de automação programável que possui características de adaptabilidade ao produto, ou seja, torna o processo capaz de ser reprogramado quando as especificações técnicas de fabricação de um artefato sofrem qualquer tipo de alteração. Tal

característica de sistemas autômatos verifica-se quando o volume de produção é relativamente baixo e há uma variedade de produtos a serem fabricados. Como exemplo de dispositivo de controle utilizados em processos com essa característica, também conhecido como processo por batelada, encontra-se o controlador programável (SILVEIRA e SANTOS, 1998, p.150).

Entende-se por um robô moderno um equipamento multifuncional e reprogramável, projetado para movimentar materiais, peças, ferramentas ou dispositivos especializados através de movimentos variados e reprogramáveis. Diferentemente da automação convencional, os robôs são projetados para realizarem, dentro dos limites pré-definidos, um número irrestrito de diferentes tarefas (ULLRICH, 1987).

Um robô consiste em um agente artificial que opera no mundo físico interagindo através de atuadores, que são as ferramentas para a ação do robô sobre o mundo, e sensores como ferramentas que transmitem informações do ambiente, ou seja, é a percepção do robô em relação ao mundo (SALANT, 1991).

O estudo de robótica compreende o desenvolvimento de protótipos mecânicos e eletrônicos, dispositivos estes controlados por circuitos integrados e algoritmos lógicos computacionais, tendo um programa como gestor de atividades específicas (WINSTON, 1997).

Robótica é a ciência que se direciona para as máquinas automáticas que realizam tarefas automáticas, sendo que são chamadas de robôs, e realizam tarefas específicas de forma repetida e contínua, substituindo o ser humano em muitas aplicações.

Para PAZOS (2002, p. 11) a definição de um robô pode ser atribuída a “um manipulador reprogramável, multifuncional, projetado para mover materiais, peças, ferramentas ou dispositivos especiais em movimentos variáveis programados para a realização de uma variedade de tarefas”.

Robôs são dispositivos mecânicos articulados reprogramáveis, que conseguem, de forma autônoma e recorrendo à sua capacidade de processamento, obter informação do meio envolvente utilizando sensores; tomar decisões sobre o que devem fazer com base nessa informação e em informação à priori; manipular objetos do meio envolvente utilizando atuadores (ROBOTICS INDUSTRIES ASSOCIATION, 2010).

Considera-se que um robô seja um manipulador programável que executa

movimentos ou tarefas de acordo com um programa para desempenhar determinadas tarefas. Entende-se por robôs manipuladores “os braços mecânicos, ou qualquer sistema que, em geral, tenha por objetivo deslocar material de um ponto a outro do espaço ou acompanhamento de uma trajetória” (PAZOS, 2002, p. 14).

De acordo com PAZOS (2002, p. 14), os robôs são classificados conforme a sua aplicabilidade em determinadas áreas. “Robôs exploradores têm como objetivo explorar um determinado ambiente; as máquinas-ferramenta que processam uma determinada matéria-prima; e por fim os robôs manipuladores”.

Os manipuladores são os “mais utilizados na indústria, em laboratórios e caracterizam-se pela forma em geral semelhante ao braço humano, sendo conhecido como braço mecânico. São constituídos a partir de “uma série de corpos rígidos interligados por juntas que permitem um movimento relativo entre esses corpos” (PAZOS, 2002, p. 256). De forma geral são montados em uma base fixa que está ligada ao primeiro elo através da primeira junta. O ponto extremo do manipulador comumente conhecido por punho é onde se fixa o efetuador, que será o dispositivo que irá operar sobre o mundo físico. O mesmo autor indica que o número de articulações do manipulador, que são chamados de graus de liberdade, são determinados conforme a complexidade das operações que o manipulador irá executar, levando em consideração que a dificuldade de controle do manipulador aumenta com o número de graus de liberdade do braço (SOUZA, 2010; PAZOS, 2002).

O movimento das articulações é realizado por atuadores que são motores elétricos, pistões hidráulicos ou pistões pneumáticos e estão mecanicamente conectados às articulações por diferentes mecanismos de transmissão de potência como polias, engrenagens ou correntes.

Para construção de braços mecânicos é comum o uso de motores elétricos de corrente contínua de imã permanente ou motores de passo, sendo estes últimos mais utilizados nestes tipos de aplicação. Os motores de passo proporcionam uma maior precisão nos movimentos que são executados através do programa de controle que determina as tarefas que o manipulador executará, bem como a velocidade dos movimentos.

Automação de sistemas e robótica são duas áreas da ciência e da tecnologia intimamente relacionadas. No contexto industrial, pode se definir a automação como a

tecnologia que se ocupa da utilização de sistemas mecânicos, eletro-eletrônicos e computacionais na operação e controle da produção.

2.3 EXEMPLOS DE APLICAÇÕES DE TÉCNICAS GEODÉSICAS NO MONITORAMENTO

Em pesquisas realizadas sobre movimento de estruturas utilizando técnicas geodésicas, verificaram-se diversos trabalhos no Brasil e no exterior. Na sequencia, citam-se alguns trabalhos sobre este tema.

CHEN (1983) classifica as técnicas de monitoração, onde destaca os métodos geodésicos convencionais como: a) redes geodésicas de monitoração: absoluta e relativa; b) redes horizontais de monitoração: redes de triangulação; redes de trilateração e redes de triangulateração; c) movimentos verticais: nivelamento geodésico de primeira ordem.

GUEDES, *et al*. (2006) compara o deslocamento do fecho do arco de coroamento da Barragem do Funil, entre duas campanhas, monitorado por três processos independentes: auscultação geodésica, prumo ótico acoplado com pêndulo invertido; concluindo que as diferenças dos deslocamentos radiais absolutas não são significativas entre os processos.

FAGGION, *et al*. (2006) trata da implantação de uma rede geodésica na Usina Hidrelétrica de Salto Caxias, formada por seis pilares, dotados de sistema de centragem forçada a jusante da barragem, um conjunto de Referências de Nível (RRNN) na crista e laterais da mesma e um conjunto de alvos para o monitoramento. Os métodos de levantamentos geodésicos aplicados neste trabalho foram: triangulação, trilateração e nivelamento geométrico de precisão, posicionamento com GPS e gravimetria.

Para o acompanhamento das variações altimétricas está sendo empregado o nivelamento geométrico, método das visadas iguais, determinando-se os desníveis, antes e após a formação do reservatório da usina.

O monitoramento de barragens aplicando conceitos da geodésia geométrica (triangulação, trilateração e nivelamento geométrico) fornece dados acurados e confiáveis

sobre a real condição estrutural de uma obra deste porte, sendo viável e justificável a implantação de uma rede de monitoramento geodésico para controle de deslocamentos estruturais (FAGGION *et al*, 2006).

VEIGA, *et al*. (2006) apresenta a metodologia utilizada para detectar deslocamentos horizontais de pontos localizados dentro de galerias, empregando-se técnicas de poligonação de precisão. As poligonais são apoiadas na rede externa de monitoramento existente na barragem.

NETTO, *et al*. (2006) descreve o procedimento de verificação da estabilidade dos pilares de observação da rede básica de Itaipu com a utilização da tecnologia GNSS (*Global Positioning System*), onde foram calculadas as coordenadas de 7 pilares de observação com desvios-padrão entre +/- 6 cm, sendo melhores que a precisão nominal dos receptores GPS utilizados. Essas coordenadas ajustadas foram consideradas referenciais para a comparação com as coordenadas dos mesmos pontos que serão coletados, processados e ajustados, de acordo com a mesma metodologia empregada.

LAROCCA (2004) apresenta em sua tese, o desenvolvimento de uma metodologia para avaliar a utilização do GPS como ferramenta de pesquisa no estudo do comportamento dinâmico de obras viárias, detectando deslocamentos dinâmicos através dos dados da portadora L1.

RUSSO NETO (2005) apresenta resultados de medidas de carga e recalque em 20 pilares contíguos de uma estrutura em concreto armado pré-moldada, apoiada em fundações do tipo estaca cravada. Os recalques foram medidos por meio de nivelamento ótico de precisão, tendo sido determinado valores máximos variáveis entre 1,1 e 4,3 mm.

KRELLING (2006) desenvolveu em sua tese um inclinômetro foto-mecânico destinado ao monitoramento geodésico/geotécnico de estruturas de engenharia civil, onde são apresentados estudos para a construção do inclinômetro. Incluem, também, testes sobre o sensor ótico, procedimentos de calibração e análises sobre as causas prováveis de variações de valores observados. O equipamento testado, apresentou resolução média de 1mm/100m, precisão de 2mm/100m e Fator de Ampliação Específico (FAE) de 9,98324.

VEIGA (2000) fala sobre a ‘topografia digital’ que vem tomando espaço nos dias de hoje. Cada vez mais o emprego de equipamentos eletrônicos, como estações totais e níveis

digitais, vem contribuindo para diminuir a dificuldade e o custo dos levantamentos topográficos. Apresenta uma discussão sobre a questão da automação, analisando quais métodos a serem empregados e quais os elementos necessários para dar flexibilidade e operacionalidade ao processamento dos dados em campo, propondo uma metodologia para a implementação de um sistema de mapeamento automático empregando estações totais.

Segundo CINTRA (1993) o processo de automação topográfica iniciou-se na década de 1960 com a construção dos teodolitos-taquímetros, desenvolvidos pelas empresas FENNEL e KERN, que gravavam as medidas em um filme fotográfico de 35 mm. Este autor trata, ainda, das automações dos trabalhos de campo e de escritório, onde são apresentados os processos tradicionais e eletrônicos, equipamentos topográficos eletrônicos, automação dos cálculos e de projetos.

Para o nivelamento geométrico, onde se emprega os níveis, CINTRA (1993) aborda sobre a dificuldade em relação a caderneta para as anotações, que com o lançamento dos níveis digitais esta questão fora resolvida com a incorporação do conceito de código de barras a uma mira e decodificado com o padrão interno gravado no instrumento.

Atualmente, a evolução nessa área se deu, principalmente, com o avanço tecnológico no que diz respeito à introdução da eletrônica nos equipamentos topográficos. É comum ver diversos profissionais de topografia adquirir estes equipamentos de última geração, de diversas marcas e modelos, mas que são sub-utilizados devido ao grande número de recursos que estes equipamentos possuem, necessitando de treinamento e suporte técnico adequado.

De acordo com VEIGA (2000), tem-se uma revolução na área de levantamentos de dados em campo, mudando radicalmente as operações até então realizadas. Para cada etapa do trabalho de levantamento, existe um determinado grau de automação.

NADAL (2008) trata em sua dissertação sobre a robotização de estações totais, onde afirma ser possível a utilização destes em monitoramento geodésicos contínuos, principalmente aplicados a estruturas de grande porte e que uma forma de realização deste tipo de aplicação é através da automação do controle do equipamento, sendo abordada a maneira de se estabelecer comunicação e controle destes instrumentos. No trabalho, foram apresentados conceitos de transmissão de dados e o desenvolvimento de programas que permitem o envio e o recebimento de dados entre a estação robotizada e o computador.

BEER e STOYAN (2002) apresentam um sistema motorizado de nivelamento digital, onde relatam melhorias advindas do emprego deste sistema nas medições na área da construção civil. O sistema apresenta motores de passo montados numa mesa rotativa onde são controlados através de um PC.

Na construção e durante toda vida útil, em grandes obras de engenharia, tais como: usinas hidrelétricas; pontes; edificações urbanas, entre outras, devem possuir sistemas de monitoramento visando otimizar seus processos construtivos, analisar eventuais deslocamentos de pontos de controle, ajudar na tomada de decisões quanto aos investimentos realizados, dentre outros. Em função disso, um grupo de pesquisadores vinculados ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná vem trabalhando a utilização de técnicas geodésicas para o monitoramento destas obras.

O nivelamento geométrico é uma técnica geodésica que permite a obtenção de desníveis entre pontos de monitoramento com precisão sub-milimétrica.

Verificou-se que existem poucas investigações buscando a automação de níveis digitais para aplicação no monitoramento de grandes estruturas. Por conta dessa carência, foi conduzida esta pesquisa.

2.4 NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

As redes geodésicas suprem a comunidade técnica nacional das informações necessárias à condução dos assuntos públicos, principalmente as que permitem apoiar as grandes obras de engenharia tais como: sistemas de comunicação; transmissão de energia; barramentos para geração de energia ou abastecimento de água e titulação de propriedades, dentre outras não menos importantes (IBGE, 1983).

De acordo com o IBGE (1983), o estabelecimento do sistema geodésico se desenvolve a partir do conjunto de atividades que objetivam a definição das coordenadas (parâmetros) dos pontos integrantes do sistema, denominando-se de levantamentos geodésicos, ao conjunto de atividades voltadas para as medições e observações de grandezas físicas e geométricas que conduzem à obtenção desses parâmetros.

Estes levantamentos, conforme o IBGE, podem ser classificados da seguinte forma: de alta precisão; precisão e para fins topográficos, à luz da teoria do ajustamento de observações geodésicas, conforme o quadro (I) integrante das especificações e normas gerais para levantamentos geodésicos em território brasileiro.

Para os levantamentos altimétricos, as especificações e normas gerais do IBGE, ditam o seguinte:

- **Levantamentos Geodésicos de alta precisão:** desenvolver-se-ão na forma de circuitos, acompanhando a malha viária do país, preferencialmente ao longo das vias asfaltadas e servindo por ramais às cidades, vilas e povoados à margem das mesmas e distantes até 20 km. Os circuitos apresentar-se-ão com perímetro das linhas formadoras dos circuitos. Nas áreas metropolitanas desenvolver-se-ão em circuitos, condicionados em forma e dimensões ao processo de urbanização, mantendo-se as estações preferencialmente espaçadas de 1 km e de, no máximo, 3 km. Os resultados são utilizados no apoio cartográfico, no suporte e controle das grandes obras de engenharia e nos resultados científicos em geral. Espera-se que o fechamento dos circuitos antes do emprego dos métodos de ajustamento, seja inferior a 0,5 mm/km, considerando-se aplicadas as correções inerentes ao processo de medição;
- **Levantamentos geodésicos de precisão:** nas áreas mais desenvolvidas, obedecerão o critério de circuitos de no máximo 200 km de perímetro, referenciados àqueles classificados como de Alta Precisão. As estações serão espaçadas no interior das linhas de, no máximo, 3 km. Para as áreas menos desenvolvidas o desdobramento dar-se-á em circuitos ou linhas, em função das características regionais, mantendo-se o afastamento máximo de 3 km entre as estações. Os resultados atendem de forma geral ao apoio cartográfico e locação e controle de obras de engenharia;
- **Levantamentos locais, vinculados aos de alta precisão ou de precisão:** configurar-se-ão em circuitos ou linhas, em função do atendimento a que se destinem, sendo utilizado, principalmente, nos levantamentos e parcelamentos de propriedades, atendimento de pequenas obras e estudos de drenagem e gradientes.

Para evitar a ocorrência e propagação dos erros sistemáticos, são recomendados alguns cuidados usuais, tais como: os comprimentos das visadas de ré e vante devem ser

aproximadamente iguais; não se recomenda visadas com mais de 100m de comprimento; leituras deverão ser feitas acima de 20 cm do solo; as miras deverão ser utilizadas aos pares; uso de sapatas e colocação das miras sobre chapas ou pinos.

A qualidade dos trabalhos deverá ser controlada através das diferenças entre o nivelamento e o contranivelamento, seção a seção e acumuladas na linha, observando os valores limites de 3 mm$\sqrt{k}$, para os levantamentos de alta precisão, de 6 mm$\sqrt{k}$ para os de precisão em áreas mais desenvolvidas, e de 8 mm$\sqrt{k}$ para as áreas menos desenvolvidas e o de 12 mm$\sqrt{k}$ para os levantamentos locais, (onde k é a distância nivelada em quilômetros). A manutenção deste controle permitirá se alcançar, após o ajustamento, os valores estipulados para a exatidão de cada classe.

A norma técnica NBR 13133 (1994) define Levantamento Topográfico Altimétrico como o "levantamento que objetiva, exclusivamente, a determinação das alturas relativas a uma superfície de referência, dos pontos de apoio e/ou dos pontos de detalhes, pressupondo-se o conhecimento de suas posições planimétricas, visando à representação altimétrica da superfície levantada".

A NBR 13133 (1994) define ainda, nivelamento geométrico como o "nivelamento que realiza a medida da diferença de nível entre os pontos por intermédio de leituras correspondentes a visadas horizontais, obtidas com um nível, em miras colocadas verticalmente nos referidos pontos". Esta norma recomenda, também, que para nivelamentos geométricos de alta precisão, devem ser observadas as especificações e normas do IBGE.

2.5 NÍVEIS DIGITAIS

Durante as últimas décadas, os instrumentos de medida, incluindo os níveis topográficos e geodésicos, tornaram-se mais automáticos e eletrônicos, com reflexos na precisão e na produtividade das suas medições, tornando-se tão populares quanto às estações totais.

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. A leitura da mira é obtida pela avaliação da imagem da mira codificada que foi projetada no CCD.

Os níveis digitais podem ser considerados como uma fusão de uma câmera digital e de um nível automático. Tem um telescópio com imagem direta e um compensador para estabilizar o plano horizontal perpendicular à vertical. 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 (Figura 1) (INGENSAND, 1999).

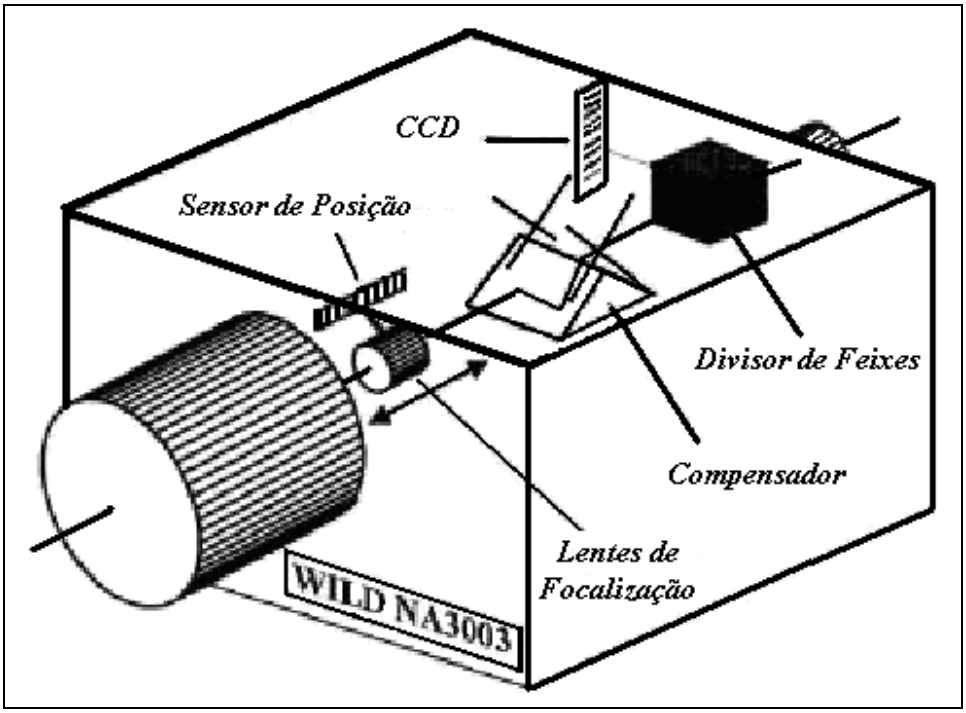


FIGURA 1 – Esquema do nível digital
FONTE: INGENSAND, 1999 - Adaptado

Diferentes técnicas de medição têm sido desenvolvidas com relação a códigos. Os algoritmos usados para cálculos da leitura da mira são: correlação, média geométrica e análise Fourier.

Na utilização destes equipamentos recomenda-se que a visada máxima seja de 50 m para nivelamentos de primeira ordem e 90 m para nivelamentos de terceira ordem, como indicado pela *Standards and Requerements for Levelling* (NOAA, 2010).

Visadas longas são necessárias em algumas aplicações como travessias de águas e de vales e podem ser necessárias em levantamentos de rodovias e ferrovias (KHALIL, 2007).

Uma vantagem destes equipamentos consiste na eliminação de erros de leitura e automação na coleta e armazenamento de dados, onde se espera que eles tomem lugar nos manuais de procedimentos de nivelamentos geométricos (RADCLIFFE, 1999).

O primeiro sistema de nivelamento, quase totalmente automatizado, Wild NA2000 foi lançado no início de 1990 (INGENSAND, 1999). Atualmente, existem vários fabricantes de sistemas de nivelamento digital no mercado, tais como: Leica, Trimble (Zeiss), Sokkia e Topcon, entre outros.

Um sistema de medição digital consiste de um nível, incluindo de ótica e um compensador, e uma escala em código de barras para nivelamento geodésico, gravada em uma fita de ínvar fixada em uma mira de alumínio. Além disso, existe uma câmera CCD e um programa para controlar todas as operações, procedimentos e processos do nível digital (INGENSAND, 1999).

De acordo com WOSCHITZ (2002), a automação toma lugar também no campo do nivelamento. A mira codificada e o nível formam o sistema de nivelamento. Os componentes principais do nível digital são o telescópio óptico, o compensador, o CCD, o micro controlador e o *software* de funcionamento.

Existem algumas diferenças entre o sistema de nivelamento digital e o nivelamento convencional, tais como as destacadas por TAKALO e ROUHIAINEN (2004a); WOSCHITZ *et al.* (2002):

- 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 instrumentos, por exemplo, sinal de luz, ocular, micrômetros, linha de nível, etc;
- No nivelamento digital, a câmera CCD toma o lugar do olho humano;
- Pelo processamento, a leitura da altura 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 pelo nível digital pode ser sensível as influências de riscos dos elementos dos códigos ou sombras na fita de ínvar.

Até a última década, não havia sido possível automatizar o nivelamento de linhas geométricas com alta precisão, pois o rendimento dos procedimentos de rastreamento eletrônico era muito inferior aos obtidos pelo olho humano. Com o lançamento do Wild NA2000 em 1990, pela primeira vez a Leica obteve êxito em avaliar uma imagem da mira mediante o processo eletrônico unidimensional de imagens digitais. Um arranjo de diodos detectores faz a função do olho humano. Neste sentido, o nível digital corresponde a uma câmera CCD com linha de pontaria estável (Figura 2), que identifica o código de barras da mira e a emprega para formar um padrão de sinal que o nível digital pode avaliar mediante o processo de correlação. Este processo calcula tanto a leitura da mira, como a distância em relação ao centro analítico (LEICA, Informe técnico).

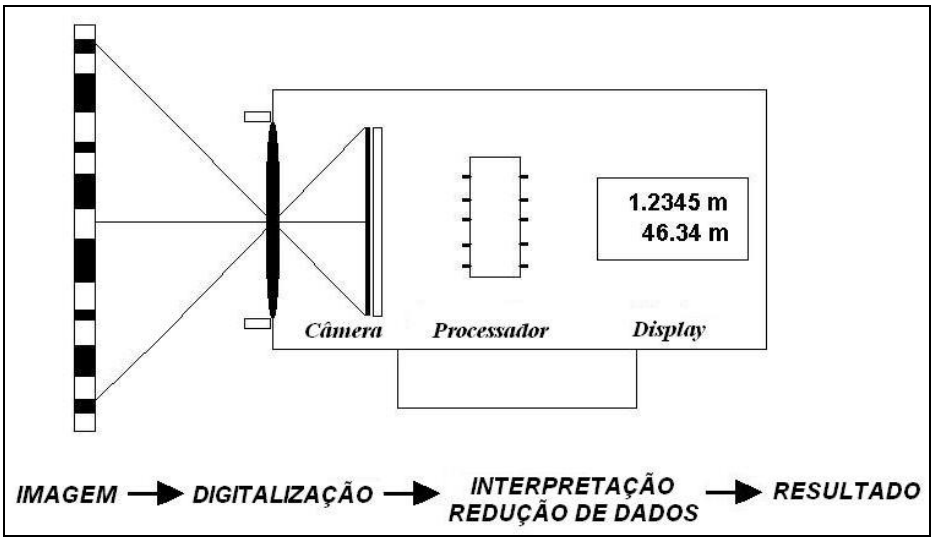


FIGURA 2 – O princípio do processo eletrônico unidimensional de imagens digitais

FONTE: LEICA. Informe Técnico dos Níveis Digitais NA2000 e NA3003 (2003) - Adaptado

A maioria dos métodos de medições geodésicas como a determinação eletrônica de distância, terrestres ou espacial, podem ser caracterizados como uma transferência de

informação entre duas posições. Transferindo esse conceito para o processo de nivelamento, tem-se a determinação da posição na escala vertical pela mira codificada, conforme mostra a Figura 3 (INGENSAND, 1999).

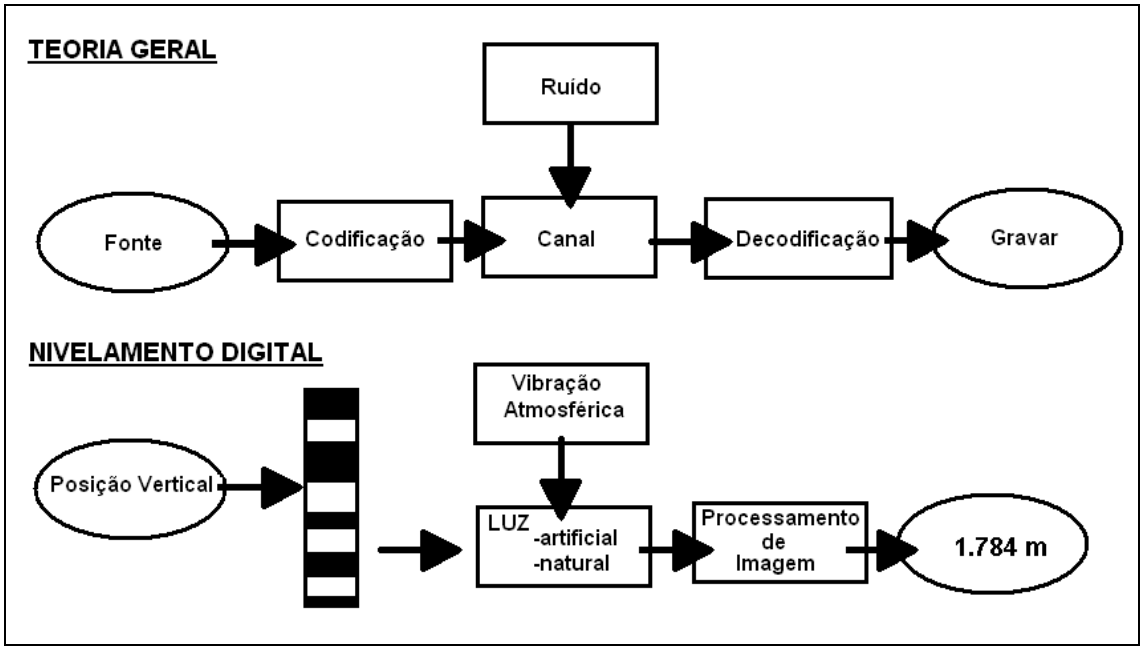


FIGURA 3 – A informação transferida ao nivelamento digital

FONTE: INGENSAND, 1999 - Adaptado

A eficiência e a confiabilidade da transferência de informação é principalmente uma questão do código apropriado (modulação) da informação. Além das exigências básicas da transferência de informação, diversas exigências geométricas de um código com características pseudo-randômicas, bom contraste nas bordas e das não-ambiguidades dentro do comprimento da mira, de quatro metros, e do intervalo de distância até 100 m, têm sido cobertos. Por razões de patente industrial, cada fabricante desenvolveu seu próprio código e método de processamento, sendo forçados a desenvolver códigos especiais para o sistema de nivelamento digital, fornecendo uma clara projeção sem utilizar uma ótica avançada. O código de todos os fabricantes é ajustado de maneira a converter a imagem através de um CCD em uma informação digital de intensidade e posição. Consequentemente, todos os códigos usam a transição preto-branca na borda dos códigos de barras (INGENSAND, 1999).

A medição digital conta com a seguinte sequência de procedimentos (Figura 4):

- Pontaria e focalização (observador);
- Disparo da medição (observador);
- Correlação grosseira (instrumento);

- Correlação fina (instrumento).

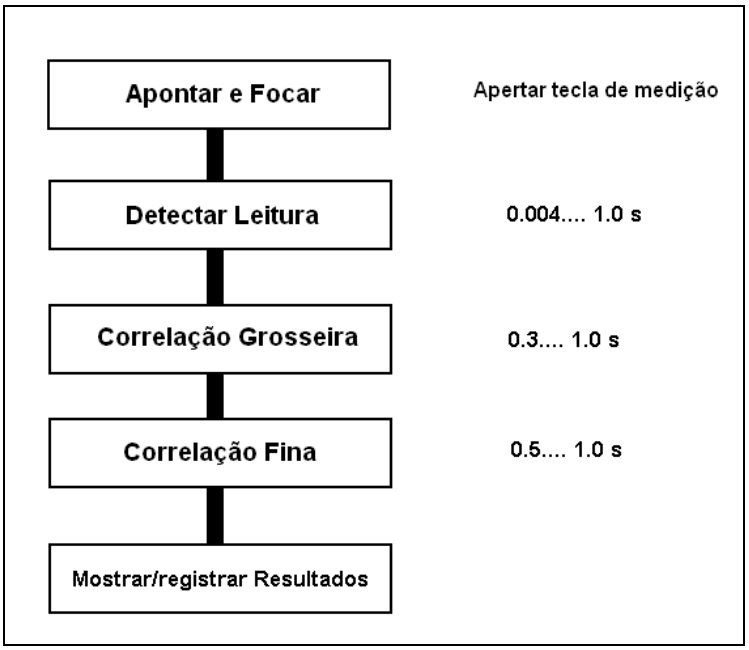


FIGURA 4 – Sequência do procedimento de medição

FONTE: LEICA – Informe técnico dos níveis digitais NA2002 e NA3003 - Adaptado

O **primeiro passo,** do nivelamento digital é idêntico ao nivelamento convencional, ou seja, o observador aponta (faz a visada) para a mira e, em seguida, faz a focalização da imagem.

No **segundo passo**, pressionando 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.

No **terceiro passo**, a 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.

O **quarto passo**, a 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.

2.5.1 Nível Digital DNA03 e DNA10 – A Nova Geração da Leica

2.5.1.1 Generalidades

Em 1990 a Leica Geosystems AG lançou o primeiro nível digital do mundo: o nível de engenharia NA2000. Este equipamento representou uma melhoria nas técnicas de nivelamento, usando o conceito inovador de leituras de miras com código de barras. Devido ao seu fácil manuseio e alta performance, o nível digital foi rapidamente aceitado no mercado que logo demandou uma maior precisão instrumental. Como resultado dessa demanda, o NA3000 foi lançado em 1991 (INGENSAND, 1990).

Os níveis digitais possuem os mesmos componentes mecânicos e ópticos de um instrumento óptico automático, mas diferem destes no que diz respeito à forma de leitura. Esta se fundamenta na decodificação de um código de barras que substitui a graduação centimétrica nas miras convencionais (VEIGA, 2002).

Devido a permanente demanda por níveis digitais, a Leica lançou a segunda geração de níveis digitais, os níveis DNA03 e DNA10. Diversos artigos podem ser consultados a respeito dos níveis digitais, destacando-se: INGENSAND (1990, 1999, 2002); TAKALO *et al* (2002); WOSCHITZ e BRUNNER (2002); WOSCHITZ *et al* (2002); SCHNEIDER e DIXON (2002); TAKALO e ROUHIAINEN (2004 a,b,c); REKUS *et al* (2008); AKSAMITAUSKAS *et al* (2010).

2.5.1.2 Formato dos dados Leica – *GSI Data Format*

Os níveis digitais da geração DNA armazenam informações, tais como: obra, linha, modo de medida, correções, ponto inicial, medidas, ponto alvo.

Um bloco de medida consiste de 16 valores, dentre eles está também o coeficiente de correlação da correlação fina para dar uma indicação da qualidade da medida. O instrumento pode converter os dados em diferentes formatos, tais como o XML, GSI-8 e GSI-16, que são formatos implementados como padrão Leica.

VEIGA (2002) cita algumas características do formato Leica: os dados são registrados em blocos; o bloco de dados é formado por diversas palavras; cada palavra de dados apresenta um comprimento fixo de 16 caracteres.

Estas palavras apresentam um identificador denominado de *Word Index* (WI), que indicará o que a mesma representa. A Tabela 1 apresenta uma lista com alguns dos identificadores utilizados nos níveis digitais:

TABELA 1 – Tipos de identificadores WI

WI	**SIGNIFICADO**
11	Número do ponto
32	Distância à mira
331	Leitura na mira - Ré
332	Leitura na mira – Vante
83	Altitude de referência

FONTE: LEICA (2003)

Como visto, o tamanho da palavra é de 16 caracteres, sendo que os dados das medições estão representados na posição de 7 a 15, onde o último caracter da palavra é o espaço em branco. A Figura 5 mostra esta representação:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
•	•	•	•	•	•	+/-	n	n	n	n	n	n	n	n	b

FIGURA 5 – Esquema de formatação da palavra

Nas posições de 1 a 3 é o identificador da palavra. Através do valor da posição 6 é possível identificar as unidades e o número de decimais do valor apresentado na palavra. A descrição completa pode ser encontrada em LEICA (2003).

Sabe-se que os níveis digitais capturam e processam a imagem da mira codificada, fornecida por um sensor CCD interno ao equipamento, a qual é comparada com padrões gravados em sua memória, obtendo-se assim os dados que são disponibilizados no *display*

(visor), podendo ser armazenados na memória interna do instrumento, copiados para um cartão PCMCIA ou ainda enviados para um banco de dados como implementado nesta pesquisa. Na Figura 6, apresentam-se alguns exemplos de saídas de dados diretamente dos instrumentos:

```
Line: 1            / BF
================================================================================
Date: 05.12.2001 / Time: 10:03:22
Staff1: --------   / Staff2: --------
================================================================================
|     PointID    |Backsight |   Intmdt  |Foresight | delta H  | Distance |Point Hgt.|
--------------------------------------------------------------------------------
|Start PtID      |          |           |          |          |          |          |
|1               |          |           |          |          |          |    0.000|
|                |          |           |          |          |          |          |
|1               |   1.61076|           |          |          |    28.77|          |
|1               |          |           |   1.51306|  +0.09770|    30.61|    0.098|
|1               |   1.55976|           |          |          |    13.49|          |
|2               |          |           |   1.57026|  -0.01050|    11.57|    0.087|
|2               |   1.64827|           |          |          |    18.89|          |
|3               |          |           |   1.59179|  +0.05648|    18.76|    0.144|


Line: 1            / BF
================================================================================
Date: 05.12.2001 / Time: 10:03:22
Staff1: --------   / Staff2: --------
================================================================================
|    PointID     |Backsight |Fore/Intm.|   Rise   |   Fall   | Distance |Pt.Height |
--------------------------------------------------------------------------------
|Start Point     |          |          |          |          |          |          |
|1               |          |          |          |          |          |    0.000|
|                |          |          |          |          |          |          |
|1               |   1.61076|          |          |          |    28.77|          |
|1               |          |   1.51306|  +0.09770|         +|    30.61|    0.098|
|1               |   1.55976|          |          |          |    13.49|          |
|2               |          |   1.57026|         +|  -0.01050|    11.57|    0.087|
|2               |   1.64827|          |          |          |    18.89|          |
|3               |          |   1.59179|  +0.05648|         +|    18.76|    0.144|


Line: 1            / BF
================================================================================
Date: 05.12.2001 / Time: 10:03:22
Staff1: --------   / Staff2: --------
================================================================================
|     PointID    |   Type   |   Staff  | Distance |Pt.Height |Remarks
--------------------------------------------------------------------------------
|1               |      Back|   1.61076|     28.77|          |  --------
|1               |      Fore|   1.51306|     30.61|     0.098|  --------
|1               |      Back|   1.55976|     13.49|          |  --------
|2               |      Fore|   1.57026|     11.57|     0.087|  --------
|2               |      Back|   1.64827|     18.89|          |  --------
|3               |      Fore|   1.59179|     18.76|     0.144|  --------
|3               |      Back|   1.62498|     19.53|          |  --------
```

FIGURA 6 – Tipos de formatos: básico, *rise and fall*, lista, respectivamente

FONTE: SCHNEIDER e DIXON, 2002

Os dados apresentados no visor (Figura 6) representam as medições, resultados do processamento, como desníveis acumulados e outras informações da programação do instrumento

2.5.1.3 Código de barras da mira

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 4,050 m, conforme informações técnicas do nível digital Leica. (INGENSAND, 1999).

Tendo em conta que o código da mira é avaliado mediante o método de correlação, tem-se como padrão um código não periódico pseudoestocástico. Este código conta com características especiais que permitem aplicar o método de correlação em um intervalo compreendido entre 1,8 a 100 m (INGENSAND, 1999).

Embora seja uma das questões mais frequentes em relação aos níveis digitais, a execução de um auto-foco não foi realizada até o presente momento, a fim de manter o custo baixo. Os níveis digitais modernos apresentam uma precisão da altura de aproximadamente 1/100 de milímetro. Para distâncias típicas de nivelamento, de aproximadamente 30 m, está abaixo da influência da refração atmosférica (LEICA, 2003).

O código de barras da mira é armazenado no instrumento como sinal de referência. Durante a medição, a seção visível da mira no campo de visão é capturada pelo decodificador de linhas e interpretada como sinal de medição. Este é posteriormente comparado com o sinal de referência e através disso é possível determinar a altura do plano horizontal definido pelo nível e o tamanho da visada.

2.6 MOTORES DE PASSO

O motor elétrico é uma máquina que transforma energia elétrica em energia mecânica, usualmente disponibilizada num eixo de rotação. A ação motora é aproveitada no acionamento de diversos tipos de máquinas e equipamentos, que podem ser classificados nos seguintes grupos (LOBOSCO e COSTA, 1988):

- Transporte de fluídos incomprensíveis (bombas de água ou de óleo);
- Transporte de fluídos comprensíveis (ventiladores, compressores e exaustores);
- Processamento de materiais metálicos (máquinas operatrizes, tais como, furadeiras, prensas, tornos, etc);
- Processamento de materiais não metálicos (processamento de madeiras, serra de fita e circulares, lixadeiras e furadeiras, aparelhos eletrodomésticos, etc);
- Manipulação de cargas (elevadores, escadas rolantes, etc);
- Transporte de cargas e de passageiros (metrô, trens, etc).

Estima-se que mais de 40% de toda energia elétrica consumida no Brasil é destinada ao acionamento de motores elétricos em geral. No setor industrial como um todo, pouco mais da metade da energia elétrica é consumida por motores. Os outros pontos de forte consumo são os processos eletroquímicos, aquecimento e iluminação. São comuns as indústrias nas quais mais de 80% do consumo de energia elétrica é de responsabilidade dos motores (LIMA, 1994).

Segundo LIMA (1994) os tipos mais comuns de motores elétricos são:

- Motores de corrente contínua: são motores de custo mais elevado e, além disso, precisam de uma fonte de corrente contínua, ou de um dispositivo que converta a corrente alternada comum em contínua. Pode funcionar com velocidade ajustável entre amplos limites e se prestam a controles de grande flexibilidade e precisão. Por isso, seu uso é restrito a casos especiais em que estas exigências compensam o custo muito mais alto da instalação;

- Motores síncrono: funcionam com velocidade invariável, utilizado somente para grandes potências (devido ao seu alto custo em tamanhos menores) ou quando se necessita de velocidade invariável;
- Motores de indução: funcionam normalmente com velocidade constante, que varia ligeiramente com a carga mecânica aplicada ao eixo. Devido a sua grande simplicidade, robustez e baixo custo, é o motor mais utilizado de todos, sendo adequado para quase todos os tipos de máquinas acionadas, encontradas na prática. Atualmente, é possível controlar a velocidade dos motores de indução com o auxílio de inversores de frequência.

O servomotor é um motor que pode ter a velocidade e/ou posição de seu eixo controladas. Um servomotor deve necessariamente ter um sistema de potência e outro de controle para poder desempenhar suas funções. Eles são aplicados em: máquinas-ferramenta a comando numérico (CNC); sistemas de posicionamento; linhas de transporte; robôs industriais; sistemas flexíveis de manufatura, etc.

A crescente popularidade dos motores de passo deve-se à sua adaptação à lógica digital. Estes dispositivos são usados em inúmeras aplicações, tais como: mesas XY, periféricos de computadores (unidades de disco, impressoras, *scanners, plotters*), célula de manufatura integrada e sistemas robóticos (de manipulação e móveis). Nesta última aplicação, com auxílio dos motores de passo, podem-se criar interfaces entre o PC e o robô de modo a realizar o movimento desejado (TOCCI e IDMER, 2007).

Diversos exemplos de automação de sistemas de produção podem ser observados nas linhas de produção industrial chamadas de *transfer*, nas máquinas de montagem mecanizadas, nos sistemas de controle de produção industrial realimentados, nas máquinas-ferramenta dotadas de comandos numéricos e nos robôs de uso industrial. Portanto, a robótica é uma forma de automação de sistemas (PAZOS, 2002).

Este autor, ainda define que um robô é um manipulador reprogramável, multifuncional, projetado para mover materiais, peças, ferramentas ou dispositivos especiais em movimentos variáveis programados para a realização de uma variedade de tarefas. Considera, também, como robôs manipuladores os braços mecânicos, ou qualquer sistema que, em geral, tenha por objetivo deslocar material de um ponto a outro do espaço ou acompanhamento de uma trajetória.

Para a construção de braços mecânicos é comum o uso de motores elétricos de corrente contínua de imã permanente ou motores de passo, sendo estes últimos mais utilizados neste tipo de aplicação. Os motores de passo proporcionam uma maior precisão nos movimentos que são executados através do *software* de controle que determina as tarefas que o manipulador executará, bem como a velocidade dos movimentos (ROCHA, 2004).

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).

A maioria dos motores gira a uma velocidade relativamente constante, enquanto outros se deslocam por pulsos ou passos discretos. Os primeiros possuem apenas dois estados de operação (parados ou girando); os de passo exibem três: parados, ativados com rotor travado ou girando em etapas. Este movimento pode ser brusco ou suave, dependendo da frequência e amplitude dos passos em relação à inércia do motor. Como todos os motores, os de passo são transdutores eletromecânicos, embora pertençam a uma categoria separada, devido às suas aplicações específicas. De fato, eles respondem de uma forma bem definida, ou seja, a rotação do eixo em um ou vários passos, a certos sinais digitais fornecidos aos seus circuitos eletrônicos de comando (FUENTES, 2009).

Assim, os motores de passo podem ser usados como um sistema aberto, isto é, sem qualquer realimentação de controle por potenciômetros, codificadores e assim por diante. Evitam, portanto, os problemas comumente encontrados nos sistemas de realimentação, como instabilidade e ultrapassagem, podendo substituir servomotores CC convencionais.

No que se refere ao funcionamento, os motores de passo podem ser comparados aos síncronos: um campo rotativo faz girar um rotor magnético. Tais motores foram subdivididos de acordo com a forma em que é gerado o campo rotativo (enrolamento do unipolar ou bipolar no estator) e com o material empregado na confecção do rotor (ferro doce ou material permanentemente magnetizado).

O motor de passo consiste num motor DC de magnetos permanentes ou de relutância variável que apresenta as seguintes características de desempenho:

- Rotação em ambas as direções;
- Variações incrementais de precisão angular;

- Repetição de movimentos bastante exatos;
- Um torque de sustentação à velocidade zero e
- Possibilidade de controle digital.

Um motor de passo pode mover-se em incrementos angulares bastante exatos, conhecidos como passos, em resposta a pulsos aplicados a um *driver* a partir de um controlador digital, o microcontrolador. O número de pulsos e a cadência com que estes pulsos são aplicados controlam a posição e velocidade do motor, respectivamente. Geralmente, os motores de passo podem ser fabricados com 12, 24, 72, 144 e 200 passos por revolução, que resultam em incrementos de 30, 15, 5, 2.5, e 1.8 graus respectivamente.

Os motores de passo podem ser bipolares, que requerem duas fontes de alimentação ou uma fonte de alimentação comutável, ou unipolares, que requerem apenas uma fonte de alimentação. Em ambos os casos, as fontes utilizadas são de tensão contínua e requerem um circuito digital que produza as sequências para produzir a rotação do motor. No controle do motor de passo nem sempre é necessária a implementação de uma estratégia de realimentação, mas a utilização de um *encoder*, ou de outro sensor de posição que poderá assegurar uma melhor exatidão sempre que for essencial. A vantagem de operar sem realimentação é que deixa de ser necessário um sistema de controle em malha fechada (LEITE *et al*, 2003).

Os motores de passo unipolares são facilmente reconhecidos pela derivação ao centro em cada um dos rolamentos. O número de fases é duas vezes o número de bobinas, uma vez que cada bobina se encontra dividida em duas. Na Figura 7 temos a representação de um motor de passo unipolar de 4 fases.

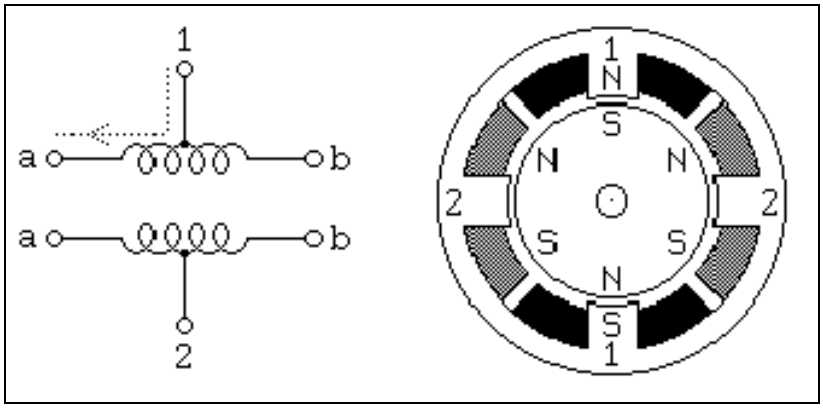


FIGURA 7 - Esquema de um motor de passo unipolar

FONTE: LEITE *et al*., 2003

Geralmente, a derivação central dos enrolamentos está ligada ao terminal positivo da fonte de alimentação e os extremos de cada rolamento são ligados alternadamente à terra para assim inverter a direção do campo gerado por cada um dos rolamentos.

Os motores de passo comumente são projetados com enrolamento de estator polifásico o que não foge muito dos demais motores. O número de pólos é determinado pelo passo angular desejado por pulsos de entrada, sendo alimentados externamente. Conforme os pulsos na entrada do circuito de alimentação, este oferece correntes aos enrolamentos certos para fornecer o deslocamento desejado.

Motores de passo unipolares são caracterizados por possuírem um *center-tape* entre o enrolamento de suas bobinas. Normalmente utiliza-se este *center-tape* para alimentar o motor, que é controlado aterrando-se as extremidades dos enrolamentos (LEITE *et al.*, 2003).

Para que este funcione, é necessário que sua alimentação seja feita de forma sequencial e repetida. Não basta apenas ligar os fios do motor de passo a uma fonte de energia, e sim, ligá-los a um circuito que execute a sequência requerida pelo motor.

Existem três tipos básicos de movimentos: o de **passo inteiro**, o de **meio-passo** e o **micro-passo**, tanto para o motor bipolar como para o unipolar. O de micro-passo tem sua tecnologia não muito divulgada, e baseia-se no controle da corrente que flui por cada bobina, multiplicado pelo número de passos por revolução.

Internamente, os motores têm seus enrolamentos similares, conforme demonstra a Figura 8:

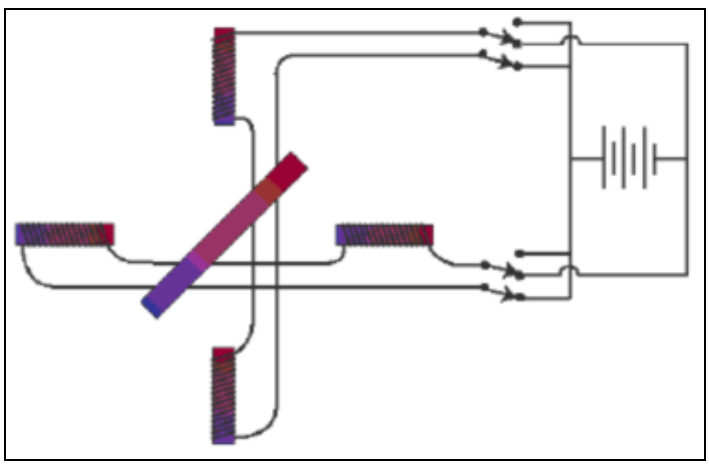


FIGURA 8 - Esquema de enrolamentos dos motores de passo

FONTE: LEITE *et al*, 2003

A energização de uma e somente uma bobina de cada vez produz um pequeno deslocamento no rotor. Este deslocamento ocorre simplesmente pelo fato de o rotor ser magneticamente ativo e a energização das bobinas criar um campo magnético intenso que atua no sentido de se alinhar com as pás do rotor. Assim, polarizando de forma adequada os bobinas, pode-se movimentar o rotor somente entre as bobinas (passo inteiro), ou entre as bobinas e alinhadas com as mesmas. Abaixo segue os movimentos executados (Figuras 9 e 10).

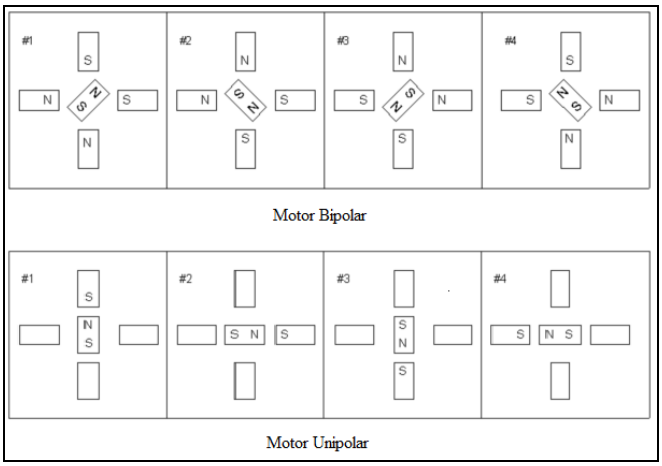


FIGURA 9 - Esquema dos movimentos com passo inteiro

FONTE: LEITE *et al*., 2003

A Figura 10 ilustra a sequência que deve ser alimentada as bobinas do motor:

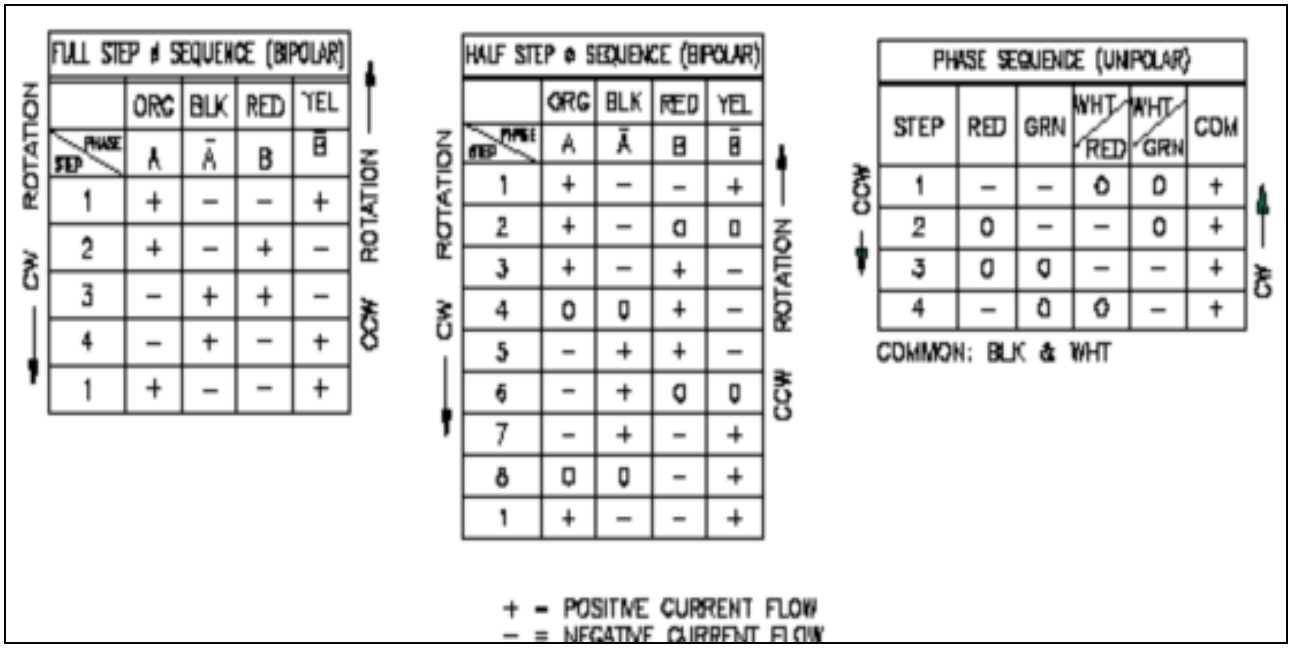


FIGURA 10 - Sequência de alimentação das bobinas dos motores

FONTE: LEITE *et al*., 2003

A sequência de ativação para uma volta completa de rotor é AB – ĀB – AB – AB – AB – ou seja, quatro passos de 90^0 cada um. Também é possível cortar a corrente de um enrolamento, antes de inverter a polaridade na fase correspondente; nesse caso a sequência AB – B – ĀB – Ā – AB – B – AB – A – AB. Nessa operação a meio passo, as etapas são menores, mas o momento é mais irregular e menor (em média), já que durante metade do tempo apenas metade do número de fases está sendo utilizada (Figura 11).

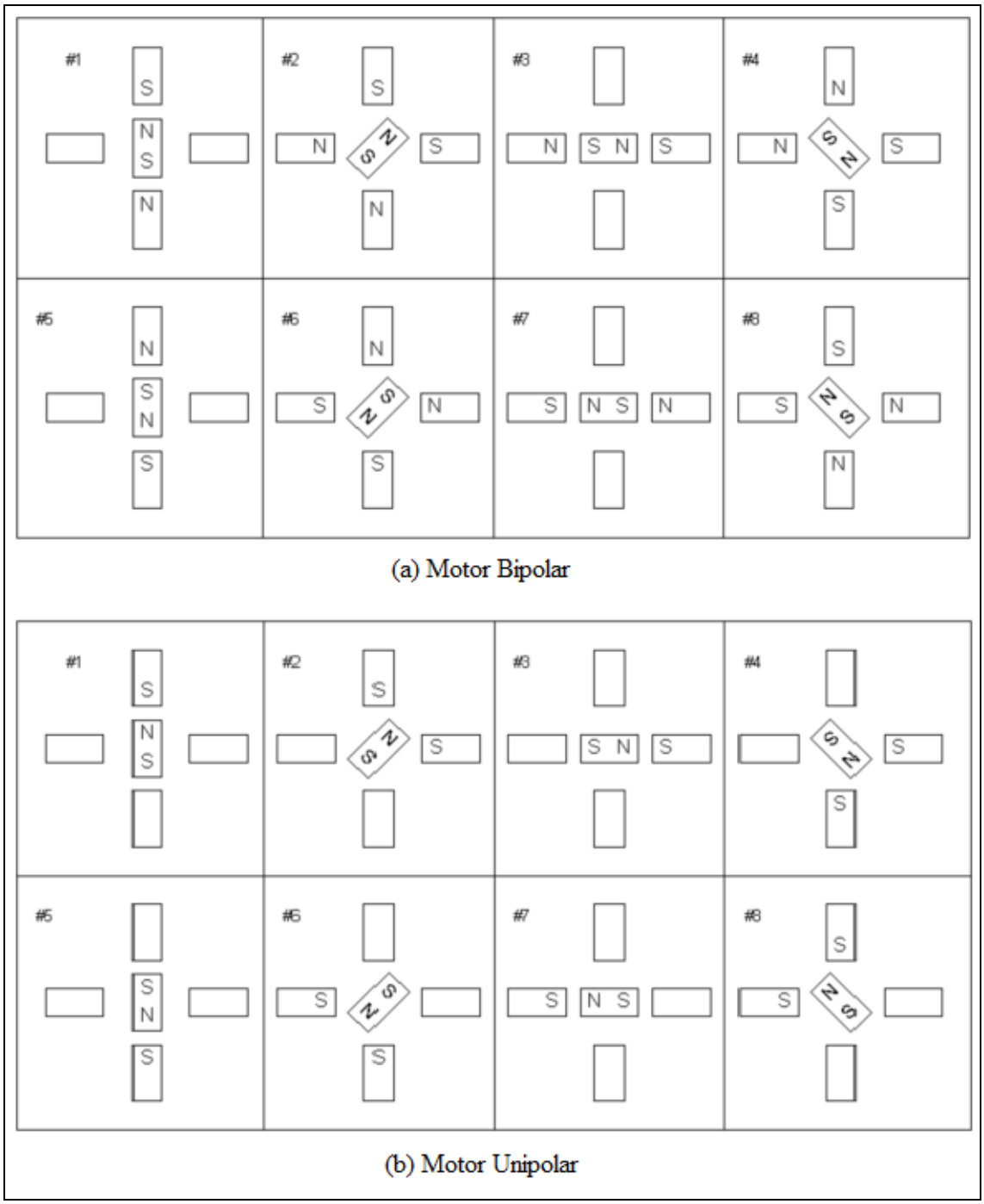


FIGURA 11 - Esquema dos movimentos com meio-passo

FONTE: LEITE *et al*., 2003

Para que se obtenha uma rotação constante é necessário que a energização das bobinas seja periódica. Esta periodicidade é proporcionada por circuitos eletrônicos que controlam a velocidade e o sentido de rotação do motor.

Um pequeno ângulo deslocado pelo rotor depende do número de dentes do mesmo assim como o número de fases do motor. Em geral, o número de dentes do rotor multiplicado pelo número de fases revela o número de passos por revolução.

Por se tratar de sinais digitais, fica fácil compreender a versatilidade dos motores de passo. São motores que apresentam uma gama de rotação muito ampla que pode variar de zero até 7200 rpm; apresentam boa relação peso/potência; permitem a inversão de rotação em pleno funcionamento; alguns motores possuem precisão de 97%; possuem ótima frenagem do rotor e podem mover-se passo-a-passo.

Mover o motor passo-a-passo resume-se ao seguinte: se um determinado motor de passo possuir 170 passos, isto significa que cada volta do eixo do motor é dividida 170 vezes, ou seja, cada passo corresponde a 2,1 graus e o rotor tem a capacidade para mover apenas estes 2,1 graus.

2.7 *DRIVER* DE POTÊNCIA

Basicamente são definidos dois blocos em um controle de motor de passo: um bloco de potência, responsável pelo chaveamento das correntes de fase e um bloco de controle, responsável pela geração dos sinais de controle para o bloco de potência.

O bloco de potência leva em consideração as características físicas dos motores, tais como indutância, resistência, tensão e corrente nominal de cada enrolamento. O bloco de potência é um projeto de circuito analógico onde os elementos de potência são escolhidos considerando as piores condições de operação. O bloco de controle é um projeto predominantemente digital, usualmente microprocessado (LIMA, 1994).

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. A parte de controle é responsável pela geração da sequência de comutações das fases, dos sinais de controle, das curvas de aceleração e desaceleração e pelo gerenciamento das interrupções do sistema mecânico.

O controle microprocessado pode ter uma ênfase em *software* ou em *hardware*. A escolha deste é função de fatores como nível de flexibilidade, faixas de operação, tempos de resposta, confiabilidade, precisão e custo (LIMA, 1994).

2.8 MICROCONTROLADORES

O microcontrolador (μC) trata-se de um componente eletrônico, elaborado para executar tarefas específicas, com linguagem de comando específica, utilizando-se de memórias ROM, que são utilizadas para guardar a instrução que o microcontrolador segue para realizar suas tarefas e memória RAM onde se guardam todas as variáveis utilizadas no programa (FRANÇA, 1997; MARTINS, 2010).

Os μC ‘s 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).

O código fonte do programa precisa passar por um compilador que irá traduzir cada linha digitada em linguagem de máquina para que o μC possa ser gravado sendo que esta gravação requer muitas vezes um equipamento de gravação.

O μC caracteriza-se por incorporar no mesmo encapsulamento um microprocessador, memória de programa e dados e vários periféricos como temporizadores, *watchdog timers*, comunicação serial, conversores analógico/digital, geradores de PWM (*pulse width modulation*), etc, fazendo com que o hardware final fique complexo (JUNIOR, AVEGLIANO 2010; FRANÇA, 1997; MARTINS (2010).

3 METODOLOGIA

3.1 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DE NÍVEIS DIGITAIS - SAND

3.1.1 Definição do tamanho do alvo

Para este trabalho, tomou-se como base, as leituras efetuadas pelos níveis digitais NA3003 e DNA03 (Figura 12). Como foi visto os equipamentos da série DNA são mais recentes do que os NA.

Os dois equipamentos estavam ajustados para fazerem 7 leituras da mira, de acordo com REKUS *et al* (2008), tomando-se a média entre elas, onde eram observados os seguintes itens:

a) o comprimento do intervalo mínimo necessário da mira para se fazer a leitura;
b) o movimento do micrômetro de ajuste do foco em função da distância nível-mira.

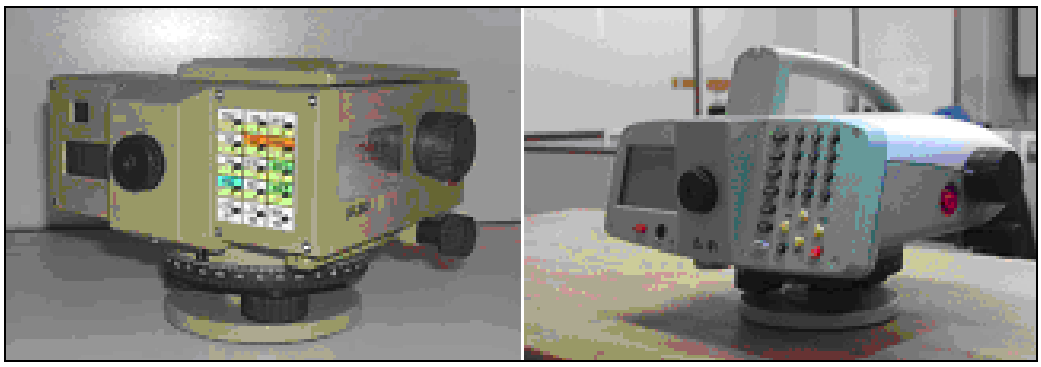


FIGURA 12 – Níveis digitais utilizados, NA3003 e DNA03

Para a primeira observação, colocou-se na borda da mira Leica, modelo Wild GPCL 3, uma fita milimetrada (Figura 13), utilizada para auxiliar na determinação do comprimento do intervalo mínimo necessário da mesma para se fazer a leitura, a partir da marcação nesta fita dos fios estadimétricos superior e inferior. Na sequência, colocou-se dois anteparos (Figura 14), um acima da marcação do fio estadimétrico superior e outro abaixo da marcação do fio estadimétrico inferior, para cobrirem a graduação do código de barras, impedindo a decodificação do mesmo.

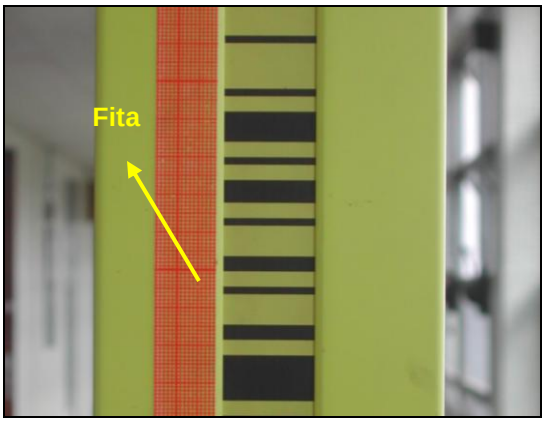


FIGURA 13 – Detalhe da mira de ínvar com código de barras com a fita milimetrada

FIGURA 14 – Anteparos utilizados para cobrirem o código de barras

Iniciaram-se os testes, fazendo-se a consideração de que somente a imagem, compreendida entre a projeção dos fios estadimétricos sobre a mira codificada, seria necessária para se fazer a leitura, assim como se faz nas leituras dos fios estadimétricos no nivelamento convencional.

Apenas com o intervalo do código de barras, entre os fios superior e inferior, em ambos os níveis digitais, não foi possível fazer a leitura. Então, foram deslocados os anteparos de 1 em 1 centímetro, de forma simétrica, tanto acima do fio superior como abaixo do fio inferior, até que os instrumentos conseguissem fazer a leitura, e o valor deste intervalo era observado e anotado, conforme mostra Tabela 7 no item 4.1.

Esse procedimento foi realizado em visadas de 5 em 5 metros, iniciando-se com 5 m, até a distância máxima de 30 metros, considerada ideal para nivelamentos de alta precisão (LEICA, 2004).

3.1.2 Desenvolvimento do sistema de ajuste do foco

Quanto a esta etapa do desenvolvimento, o movimento do micrômetro para a focalização da imagem da mira, elaborou-se uma graduação experimental que foi associada ao micrômetro do instrumento, de forma a quantificar o deslocamento angular do giro deste micrômetro. Esse botão apresenta 30 "ranhuras", onde cada uma equivale a aproximadamente 12°, conforme Figura 15. Este micrômetro é semelhante para os dois níveis utilizados. Para cada visada, o movimento do giro do micrômetro era observado e registrado.

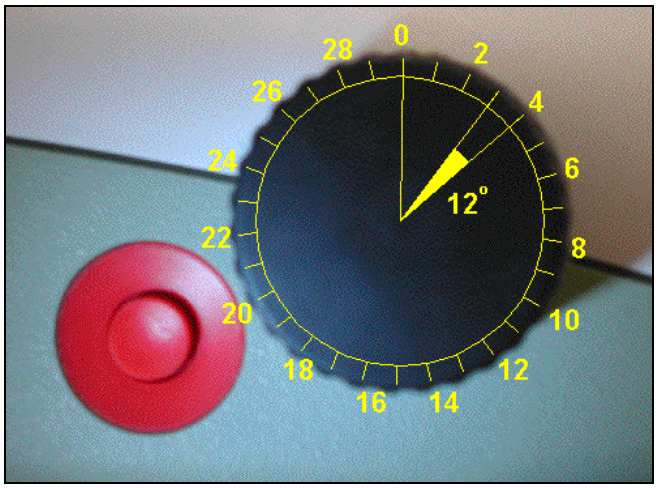
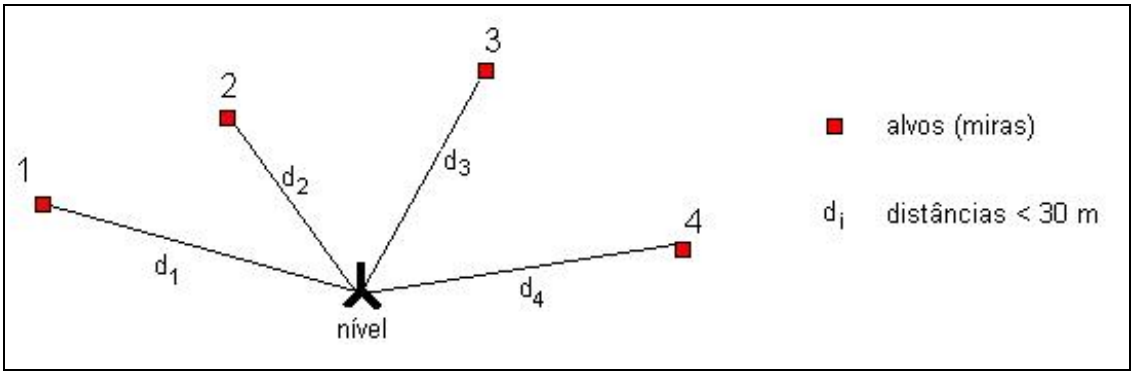


FIGURA 15 – Detalhe do micrômetro para focalização da imagem com graduação

Considerando a futura automação dos níveis digitais, para estes itens observados, o comprimento mínimo necessário da mira e o movimento do micrômetro de focalização, serão de grande importância para a automação desejada.

Como as miras (alvos) serão colocadas em pontos estratégicos, conforme a obra e/ou o interesse do monitoramento da mesma, o nível digital deverá trabalhar de forma automatizada, onde a distância das visadas a serem realizadas (distância nível-mira) serão aleatórias, até um máximo de 30 m, que é uma distância ideal para nivelamentos geométricos de alta precisão (1ª ordem), fazendo com que o comprimento da mira (alvo) necessário e a sua

focalização sejam imprescindíveis para a realização da leitura. A Figura 16 mostra essa situação, onde se vê que a disposição das miras (alvos) são importantes, sendo influenciadas pela distância de visada (distância nível-mira).



F

FIGURA 16 – Esquema ilustrativo da disposição dos alvos (miras)

Para cada distância de visada (d_i), ter-se-á um comprimento mínimo da mira codificada, bem como seu movimento no micrômetro de focalização para o ajuste do foco da imagem da mira.

3.1.3 Construção dos Alvos

3.1.3.1 Análise dos elementos do código

Para checar as informações técnicas referente à mira codificada, foi realizada uma comparação (calibração) da mira de ínvar da Leica, modelo GWCL92, nº 9117, onde foram m medidas as espessuras dos elementos de códigos pretos e brancos, utilizando como padrão de referência[2] o Interferômetro Laser HP (FAGGION, 2001) (Figura 17).

Primeiramente, partiu-se para a análise do código, verificando com auxílio de um paquímetro (TABELA 5), as espessuras de cada elemento do mesmo, obtendo-se a sequência

[2] Padrão de referência – padrão, geralmente tendo a mais alta qualidade metrológica possível em um dado local ou uma dada organização, a partir do qual as medições lá executadas são derivadas (FAGGION, 2001).

entre os códigos pretos e brancos, tendo em cada espessura um múltiplo de 2,025 mm. Adotou-se a nomenclatura de ‘P’ para o elemento de código preto e “B” para o branco, seguido do múltiplo ‘M’ em questão. Como exemplo, tem-se:

- PM = elemento de Código Preto x Múltiplo de 2,025 mm (exemplo: P3 = Preto com espessura de 3x2,025, totalizando 6,075 mm);
- BM = elemento de Código Branco x Múltiplo de 2,025 mm (exemplo: B2 = Branco com espessura de 2x2,025, totalizando 4,050 mm).

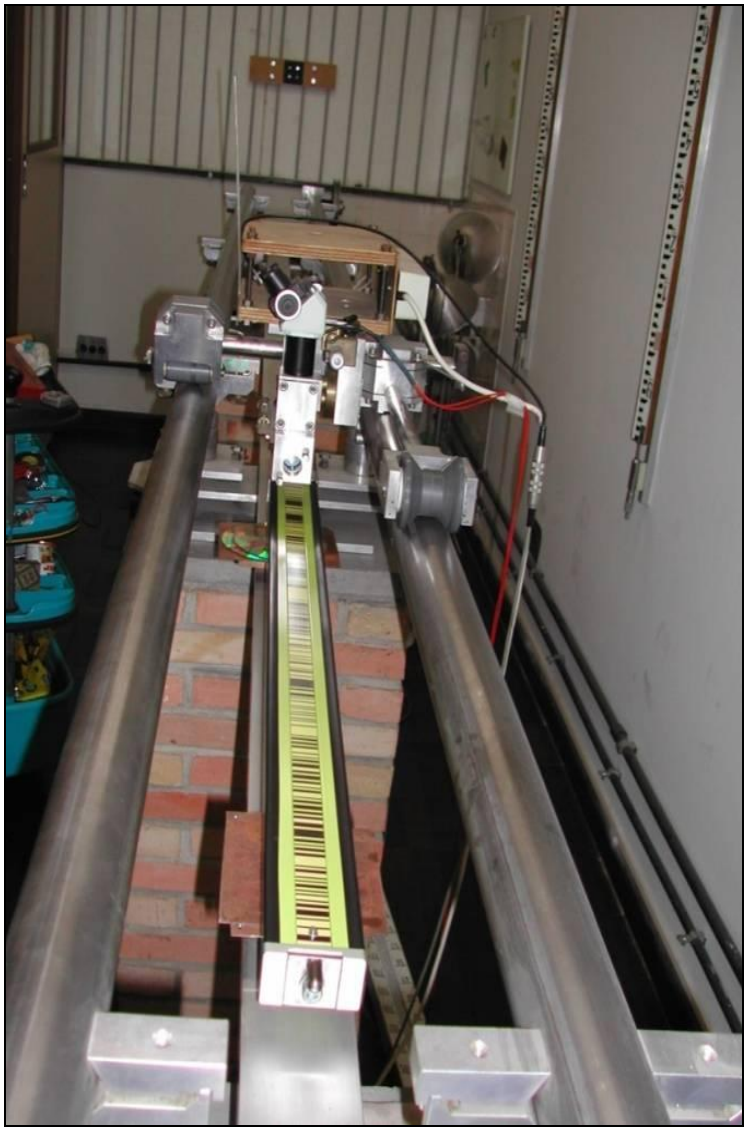


FIGURA 17 - Interferômetro a laser utilizado (LAIG/UFPR).

Para as medidas no Interferômetro, foram tomadas algumas precauções para a leitura das espessuras dos códigos, como: controle da temperatura ambiente, ajuste da mira em

relação ao trilho, iluminação, nivelamento da bolha, zeragem do interferômetro e tangenciamento da marca junto aos elementos de código.

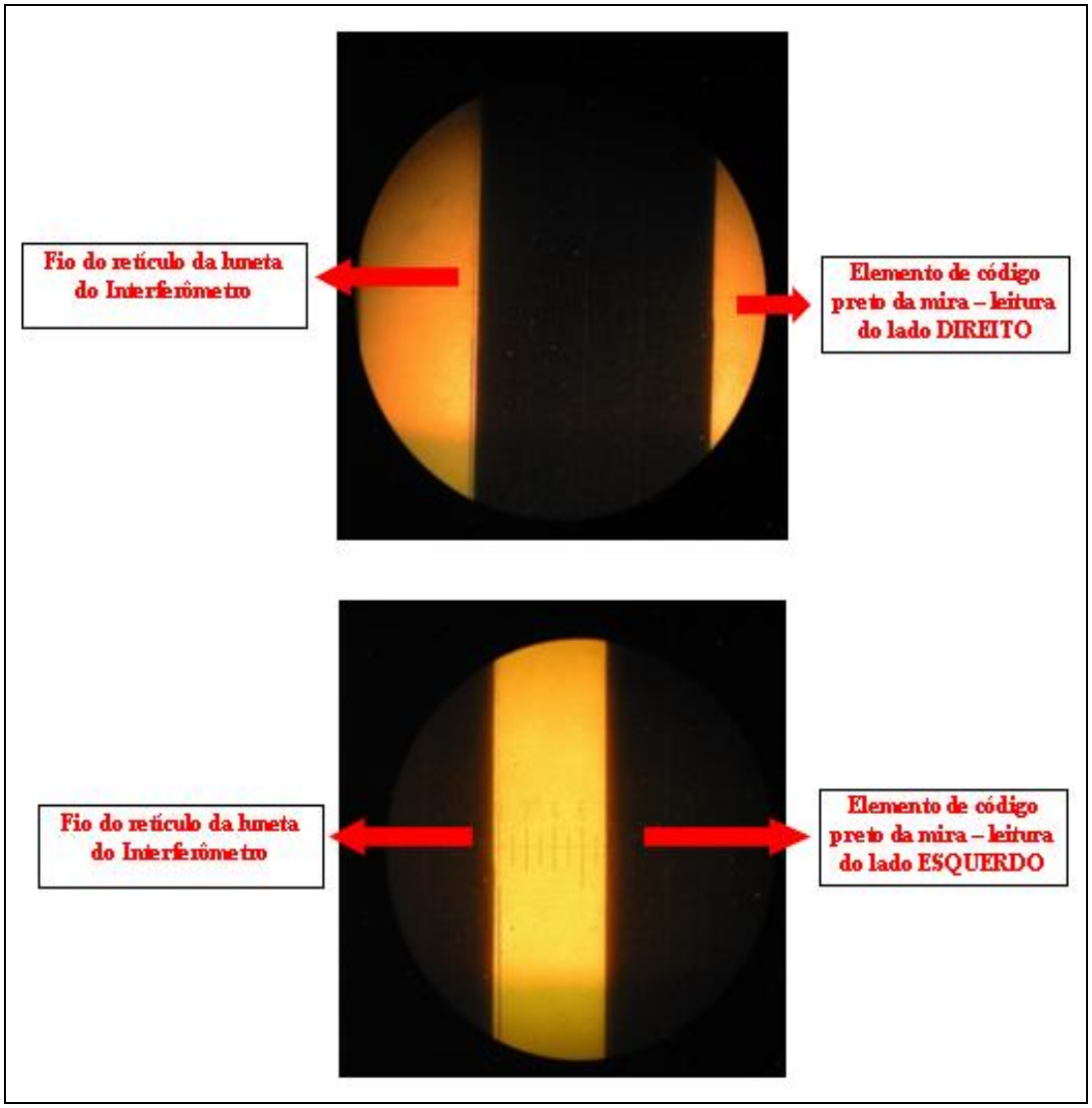
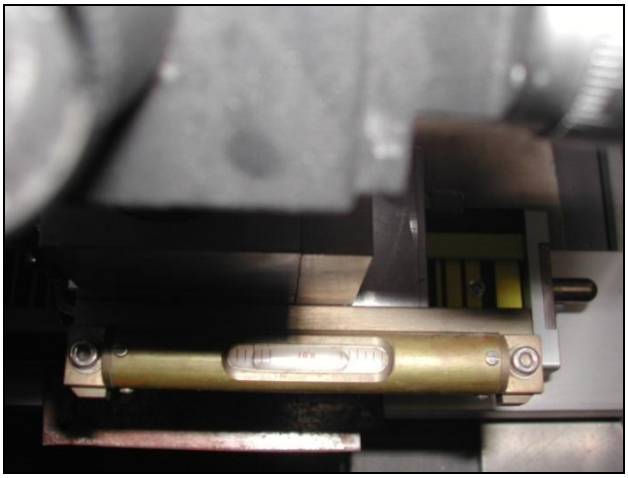


Figura 18 – Detalhe da leitura realizada no interferômetro a laser

A Figura 18 mostra o tangenciamento para a leitura na parte inicial e final do elemento de código. Após esse tangenciamento do fio do retículo do interferômetro, realizou-se o nivelamento da bolha e as leituras, conforme ilustra a Figura 19.



(a) Nivelamento da bolha

(b) leitura inicial

(c) leitura final

FIGURA 19 - Nivelamento da bolha (a) e leituras: inicial (b) e final (c)

Assim, obteve-se a Tabela 2 com a sequência e espessuras dos elementos:

TABELA 2 - Sequência dos elementos de códigos com suas espessuras ($x10^{-3}$mm), da Mira Leica GWCL92 nº 9117

Código	Espes.	Código	Espes.	Código	Espes.	Código	Espes.	Código	Espes.
inicio	0	B1	2025	P1	2025	B1	2025	P2	4050
B5	10125	P3	6075	B1	2025	P5	10125	B2	4050
P3	6075	B1	2025	P1	2025	B2	4050	P3	6075
B3	6075	P2	4050	B3	6075	P2	4050	B1	2025
P1	2025	B1	2025	P1	2025	B1	2025	P4	8100
B3	6075	P1	2025	B2	4050	P1	2025	B3	6075
P1	2025	B3	6075	P1	2025	B1	2025	P1	2025
B1	2025	P2	4050	B1	2025	P1	2025	B1	2025
P3	6075	B1	2025	P3	6075	B1	2025	P1	2025
B1	2025	P1	2025	B2	4050	P2	4050	B2	4050
P2	4050	B2	4050	P2	4050	B1	2025	P1	2025
B1	2025	P2	4050	B1	2025	P5	10125	B4	8100
P1	2025	B1	2025	P8	16200	B2	4050	P1	2025
B2	4050	P3	6075	B2	4050	P1	2025	B1	2025
P1	2025	B1	2025	P1	2025	B15	30375	P1	2025
B1	2025	P2	4050	B3	6075	P3	6075	B2	4050
P1	2025	B2	4050	P2	4050	B1	2025	P1	2025
B1	2025	P3	6075	B1	2025	P1	2025	B2	4050
P2	4050	B1	2025	P1	2025	B2	4050	P3	6075
B1	2025	P2	4050	B4	8100	P1	2025	B1	2025
P1	2025	B1	2025	P2	4050	B6	12150	P11	22275
B1	2025	P1	2025	B2	4050	P2	4050	B1	2025
P1	2025	P2	4050	P1	2025	B1	2025	P1	2025
B2	4050	P1	2025	B2	4050	P4	8100	B2	4050
P2	4050	B3	6075	P1	2025	B1	2025	P1	2025
B1	2025	P2	4050	B4	8100	P4	8100	B5	10125
P1	2025	B1	2025	P1	2025	B1	2025	P2	4050
B5	10125	P2	4050	B3	6075	P1	2025	B3	6075
P2	4050	B1	2025	P1	2025	B1	2025	P9	18225
B1	2025	P2	4050	B1	2025	P5	10125	B1	2025
P2	4050	B1	2025	P2	4050	B1	2025	P2	4050
B1	2025	P1	2025	B4	8100	P1	2025	B2	4050
P1	2025	B7	14175	P2	4050	B1	2025	P2	4050
B1	2025	P1	2025	B4	8100	P6	12150	B5	10125
P2	4050	B3	6075	P2	4050	B3	6075	P1	2025
B1	2025	P1	2025	B1	2025	P1	2025	B6	12150
P5	10125	B1	2025	P3	6075	B1	2025	P1	2025
B1	2025	P1	2025	B1	2025	P1	2025	B5	10125
P3	6075	B2	4050	P3	6075	B1	2025	P2	4050
B2	4050	P1	2025	B1	2025	P1	2025	B2	4050
P2	4050	B1	2025	P1	2025	B1	2025	P1	2025
B1	2025	P1	2025	B1	2025	P1	2025		
P2	4050	B2	4050	P1	2025	B8	16200	**Total**	**886950**

Partiu-se, então, para a medição das espessuras dos elementos do código da mira, pretos e brancos, obtendo-se os seguintes resultados, em conformidade com a Tabela 3:

TABELA 3 - Leituras realizadas no Interferômetro e diferenças encontradas ($x10^{-3}$mm)

Continua

código	padrão	soma	leitura	diferença	código	padrão	soma	leitura	diferença
inicio	0	0	0	0	B1	2025	194400	194391	9
B5	10125	10125	10120	5	P3	6075	200475	200475	0
P3	6075	16200	16203	-3	B1	2025	202500	202493	7
B3	6075	22275	22279	-4	P2	4050	206550	206555	-5
P1	2025	24300	24304	-4	B2	4050	210600	210594	6
B3	6075	30375	30369	6	P3	6075	216675	216670	5
P1	2025	32400	32394	6	B1	2025	218700	218700	0
B1	2025	34425	34421	4	P2	4050	222750	222749	1
P3	6075	40500	40494	6	B1	2025	224775	224773	2
B1	2025	42525	42523	2	P1	2025	226800	226799	1
P2	4050	46575	46569	6	P2	4050	230850	230841	9
B1	2025	48600	48601	-1	P1	2025	232875	232874	1
P1	2025	50625	50622	3	B3	6075	238950	238947	3
B2	4050	54675	54669	6	P2	4050	243000	243003	-3
P1	2025	56700	56698	2	B1	2025	245025	245019	6
B1	2025	58725	58723	2	P2	4050	249075	249074	1
P1	2025	60750	60742	8	B1	2025	251100	251101	-1
B1	2025	62775	62774	1	P2	4050	255150	255153	-3
P2	4050	66825	66822	3	B1	2025	257175	257170	5
B1	2025	68850	68852	-2	P1	2025	259200	259201	-1
P1	2025	70875	70877	-2	B7	14175	273375	273362	13
B1	2025	72900	72901	-1	P1	2025	275400	275392	8
P1	2025	74925	74924	1	B3	6075	281475	281470	5
B2	4050	78975	78971	4	P1	2025	283500	283492	8
P2	4050	83025	83023	2	B1	2025	285525	285519	6
B1	2025	85050	85050	0	P1	2025	287550	287540	10
P1	2025	87075	87074	1	B2	4050	291600	291598	2
B5	10125	97200	97205	-5	P1	2025	293625	293624	1
P2	4050	101250	101255	-5	B1	2025	295650	295654	-4
B1	2025	103275	103281	-6	P1	2025	297675	297677	-2
P2	4050	107325	107326	-1	B2	4050	301725	301729	-4
B1	2025	109350	109355	-5	P1	2025	303750	303758	-8
P1	2025	111375	111372	3	B1	2025	305775	305776	-1
B1	2025	113400	113401	-1	P1	2025	307800	307800	0
P2	4050	117450	117454	-4	B3	6075	313875	313877	-2
B1	2025	119475	119480	-5	P1	2025	315900	315900	0
P5	10125	129600	129597	3	B2	4050	319950	319950	0
B1	2025	131625	131629	-4	P1	2025	321975	321971	4
P3	6075	137700	137700	0	B1	2025	324000	324004	-4
B2	4050	141750	141750	0	P3	6075	330075	330077	-2
P2	4050	145800	145803	-3	B2	4050	334125	334127	-2
B1	2025	147825	147828	-3	P2	4050	338175	338173	2
P2	4050	151875	151879	-4	B1	2025	340200	340206	-6
B1	2025	153900	153901	-1	P8	16200	356400	356402	-2
P3	6075	159975	159982	-7	B2	4050	360450	360454	-4
B1	2025	162000	161995	5	P1	2025	362475	362475	0
P2	4050	166050	166058	-8	B3	6075	368550	368548	2
B1	2025	168075	168070	5	P2	4050	372600	372598	2
P1	2025	170100	170106	-6	B1	2025	374625	374624	1
B3	6075	176175	176168	7	P1	2025	376650	376651	-1
P2	4050	180225	180231	-6	B4	8100	384750	384752	-2
B1	2025	182250	182247	3	P2	4050	388800	388798	2
P1	2025	184275	184282	-7	B2	4050	392850	392850	0
B2	4050	188325	188323	2	P1	2025	394875	394877	-2
P2	4050	192375	192375	0	B2	4050	398925	398926	-1

Conclusão

código	padrão	soma	leitura	diferença
P1	2025	400950	400946	4
B4	8100	409050	409044	6
P1	2025	411075	411070	5
B3	6075	417150	417148	2
P1	2025	419175	419176	-1
B1	2025	421200	421195	5
P2	4050	425250	425246	4
B4	8100	433350	433354	-4
P2	4050	437400	437399	1
B4	8100	445500	445499	1
P2	4050	449550	449550	0
B1	2025	451575	451574	1
P3	6075	457650	457648	2
B1	2025	459675	459675	0
P3	6075	465750	465747	3
B1	2025	467775	467773	2
P1	2025	469800	469795	5
B1	2025	471825	471822	3
P1	2025	473850	473846	4
B1	2025	475875	475873	2
P5	10125	486000	485994	6
B2	4050	490050	490054	-4
P2	4050	494100	494097	3
B1	2025	496125	496130	-5
P1	2025	498150	498148	2
B1	2025	500175	500173	2
P1	2025	502200	502193	7
B1	2025	504225	504228	-3
P2	4050	508275	508272	3
B1	2025	510300	510299	1
P5	10125	520425	520422	3
B2	4050	524475	524476	-1
P1	2025	526500	526499	1
B15	30375	556875	556876	-1
P3	6075	562950	562950	0
B1	2025	564975	564978	-3
P1	2025	567000	567005	-5
B2	4050	571050	571052	-2
P1	2025	573075	573075	0
B6	12150	585225	585221	4
P2	4050	589275	589274	1
B1	2025	591300	591300	0
P4	8100	599400	599403	-3
B1	2025	601425	601425	0
P4	8100	609525	609527	-2
B1	2025	611550	611546	4
P1	2025	613575	613570	5
B1	2025	615600	615602	-2
P5	10125	625725	625730	-5
B1	2025	627750	627751	-1
P1	2025	629775	629779	-4
B1	2025	631800	631805	-5
P6	12150	643950	643949	1
B3	6075	650025	650029	-4
P1	2025	652050	652046	4
B1	2025	654075	654082	-7
P1	2025	656100	656096	4
B1	2025	658125	658127	-2
P1	2025	660150	660143	7
B1	2025	662175	662175	0
P1	2025	664200	664196	4
B8	16200	680400	680405	-5
P2	4050	684450	684448	2
B2	4050	688500	688504	-4
P3	6075	694575	694572	3
B1	2025	696600	696604	-4
P4	8100	704700	704700	0
B3	6075	710775	710775	0
P1	2025	712800	712793	7
B1	2025	714825	714820	5
P1	2025	716850	716846	4
B2	4050	720900	720893	7
P1	2025	722925	722923	2
B4	8100	731025	731018	7
P1	2025	733050	733045	5
B1	2025	735075	735068	7
P1	2025	737100	737090	10
B2	4050	741150	741154	-4
P1	2025	743175	743166	9
B2	4050	747225	747225	0
P3	6075	753300	753297	3
B1	2025	755325	755324	1
P11	22275	777600	777600	0
B1	2025	779625	779628	-3
P1	2025	781650	781644	6
B2	4050	785700	785689	11
P1	2025	787725	787725	0
B5	10125	797850	797836	14
P2	4050	801900	801889	11
B3	6075	807975	807974	1
P9	18225	826200	826185	15
B1	2025	828225	828212	13
P2	4050	832275	832253	22
B2	4050	836325	836313	12
P2	4050	840375	840336	39
B5	10125	850500	850485	15
P1	2025	852525	852493	32
B6	12150	864675	864672	3
P1	2025	866700	866692	8
B5	10125	876825	876814	11
P2	4050	880875	880851	24
B2	4050	884925	884913	12
P1	2025	886950	886931	19
Total			886950	

As diferenças encontradas foram desprezadas, pois este teste serviu apenas para avaliar a informação de que o menor elemento de código é de 2,025 mm, e que os demais são múltiplos deste valor (nota-se que os valores estão na ordem do micrômetro – 10^{-3} mm).

Para a construção das miras a serem utilizadas, foram desenhados os elementos de código analisados anteriormente, utilizando o *software* AutoCad R14, disponível no Laboratório de Topografia Informatizada – LATIN, do CPGCG (Figuras 20 e 21). As

dimensões originais da fita de ínvar da mira citada são de 21,00 mm de largura x 886,95 mm de comprimento.

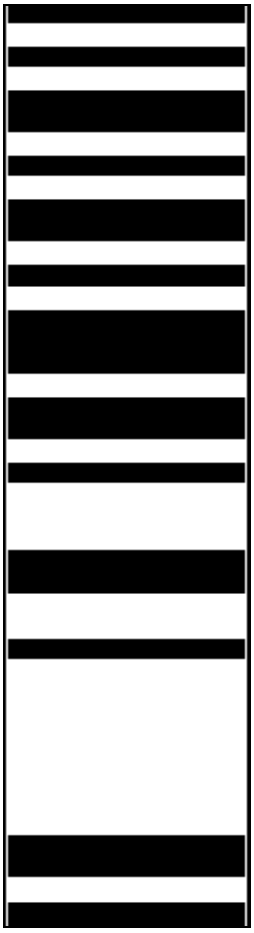


FIGURA 20 - Detalhe do desenho do alvo feito no Autocad R14

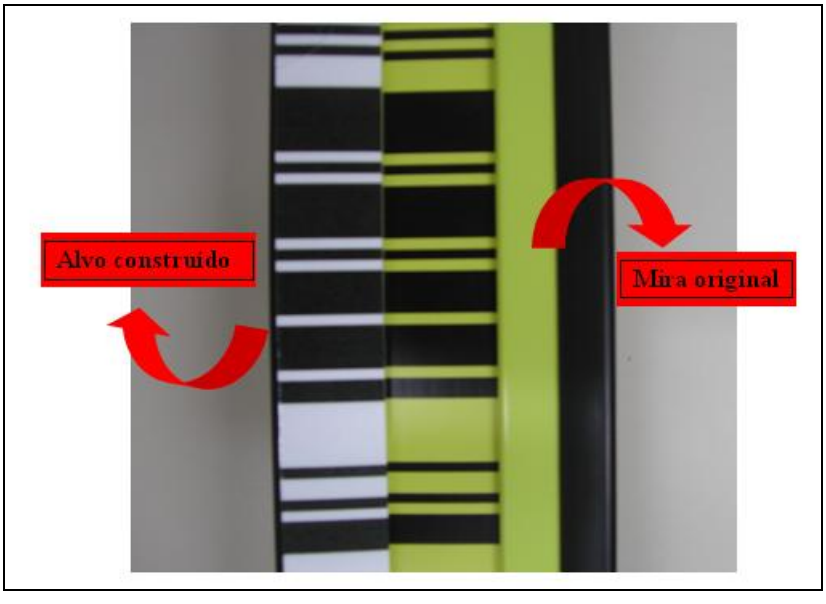


FIGURA 21- Detalhe da comparação entre o alvo construído e a mira original

Estas miras foram impressos em papel comum e plastificados buscando minimizar possíveis deformações em função da variação das condições ambientais.

Contudo, caso ainda haja alguma deformação nestes alvos, esta poderá ser desprezada, pois as leituras a serem realizadas pelo Nível Digital serão comparadas relativamente uma as outras, eliminando assim, o efeito da deformação do material usado na plotagem dos elementos de código, uma vez que o material foi o mesmo para todos os alvos.

Para analisar as miras confeccionadas, foram realizadas leituras com o Nível Digital DNA03, programado para se fazer a média de 3 leituras, em cada mira. Na Ré, foi colocado a mira original (Mira Leica GWCL92 N^{o} 9117), servindo como um *Benchmark* e, nas Vantes 1 e 2, foram colocados as miras confeccionadas com os elementos de código plotados, obtendo-se os desníveis ΔH1 e ΔH2 respectivamente (ΔH = Ré – Vante).

As leituras das miras confeccionadas foram realizadas no laboratório LAIG, com a posição das miras dispostas como mostra a Figura 22, em temperatura ambiente de aproximadamente 22^{o} C, em intervalos de 30 minutos, como descreve a Tabela 4:

TABELA 4 - Desníveis obtidos com os alvos confeccionados

Ré (fixa) (x 10^{-5} m)	**Vante 1 (x 10^{-5} m)**	**ΔH1 (x 10^{-5} m)**	**Vante 2 (x 10^{-5} m)**	**ΔH2 (x 10^{-5} m)**	**Temperatura (^{0} C)**	**Hora**
53680	75842	-22162	47154	6526	21,6	14h15
53681	75843	-22162	47154	6527	21,9	14h45
53682	75843	-22161	47155	6527	22,0	15h15
53681	75842	-22161	47155	6526	22,0	15h45
53680	75842	-22162	47155	6525	22,1	16h15
53679	75840	-22161	47153	6526	22,0	16h45
53679	75840	-22161	47152	6527	22,0	17h15
Médias						-
53680,28	75841,71	22161,43	47154,00	6526,28	21,9	-

FIGURA 22 - Disposição dos alvos no LAIG: Ré (a) , Vante 1 (b) e Vante 2 (c)

3.2 COMPONENTES DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DE NÍVEL DIGITAL – SAND

O sistema SAND foi dividido em dois componentes: o primeiro chamado de ***hardware,*** onde se tem os elementos eletromecânicos (motores de passo, dispositivo de adaptação dos motores de passo, *driver* de potência, placa microcontroladora para comando dos motores de passo) e o segundo de ***software,*** onde se encontram os programas utilizados para comandarem o sistema (softwares para programação do microcontrolador e para automação do movimento do nível).

3.2.1 Hardware

3.2.1.1 Motores de Passo

Neste trabalho foram utilizados dois motores de passo (Figura 23), um para o movimento horizontal do nível digital (modelo AK57HY/5-1.8) e outro para o movimento de focalização da imagem da mira (modelo AK39H/12-1.8), ambos adquiridos da empresa Akiyama Tecnologia em Componentes Eletrônicos Ltda. A Tabela 5 descreve as características básicas dos motores envolvidos.

TABELA 5 – Especificação técnica dos motores

ITEM	**ESPECIFICAÇÃO**	
	AK57HY/5-1.8	**AK39H/12-1.8**
Ângulo do passo	1.8	1.8
N^0 de passos	200	200
Enrolamento	Unipolar	Unipolar
Tensão nominal	5.0 Vdc	12.0 Vdc
Corrente	1.0 A/fase	0.1 A/fase
Holding torque	4.6 kgf.cm	1.1 kgf.cm
Detent torque	300 gf.cm	0.06 gf.cm
Inércia do motor	120 $g.cm^2$	48 $g.cm^2$
Peso	420 g	220 g
Rotação	150 ~ 1500 rpm	150 ~1500 rpm

FONTE: Akiyama Tecnologia em Componentes Eletrônicos Ltda.

AK57HY/5-1.8 (a)

AK39H/12-1.8 (b)

FIGURA 23 – Motores de passo utilizados

3.2.1.2 Dispositivo de Adaptação dos Motores de Passo - DAMP

Inicialmente pensou-se neste dispositivo como uma plataforma que suportasse os motores de passo, bem como a adaptação do nível digital nele. Realizaram-se diversos estudos chegando numa concepção conforme mostra o esquema na Figura 24:

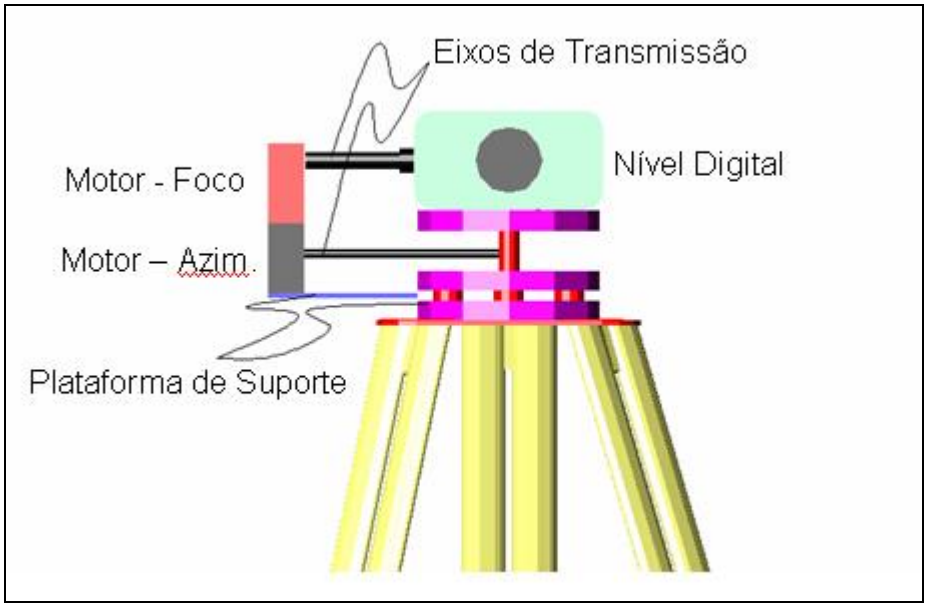


FIGURA 24 – Esquema inicial do dispositivo

A partir desta proposta de configuração, passou-se a pensar na melhor maneira de sua construção, buscando estudos sobre materiais disponíveis, os motores de passo a serem utilizados, componentes e peças, serviços de tornearia mecânica necessários na confecção da peça, entre outros fatores.

De posse dessas concepções, entrou-se em contato com a empresa AVR Instrumental Técnico e Científico Ltda., situada na cidade de Curitiba-Pr, por possuir equipamentos de tornearia mecânica especializada, sendo que a mesma fabrica diversos acessórios para topografia, tais como: tripés, bipés, bastões e suportes para prismas, bases nivelantes, níveis de cantoneira, etc.

Assim, contando com a disponibilidade desta empresa, começou a etapa de construção do dispositivo em questão, onde foram gastos aproximadamente 9 meses de trabalho diretamente com a empresa, iniciando-se em março/2009 e finalizando-se em dezembro/2009.

Diversos estudos e ajustes foram realizados neste período, objetivando melhorias na construção de tal peça. Estes estudos foram realizados de forma prática e empírica, sob a supervisão do orientador desta pesquisa.

Levando em consideração todos os estudos e sugestões efetuadas, chegou-se a uma segunda concepção para a adaptação dos motores, um sistema de polias/engrenagens na base do dispositivo, utilizando-se uma correia dentada para a movimentação do giro horizontal do nível e um anel de ligação para o movimento do botão de ajuste do foco.

A seguir, realizaram-se os desenhos técnicos do DAMP, com a utilização do *software* SolidWorks 2010, para a confecção do projeto do dispositivo (Figuras 25 a 35).

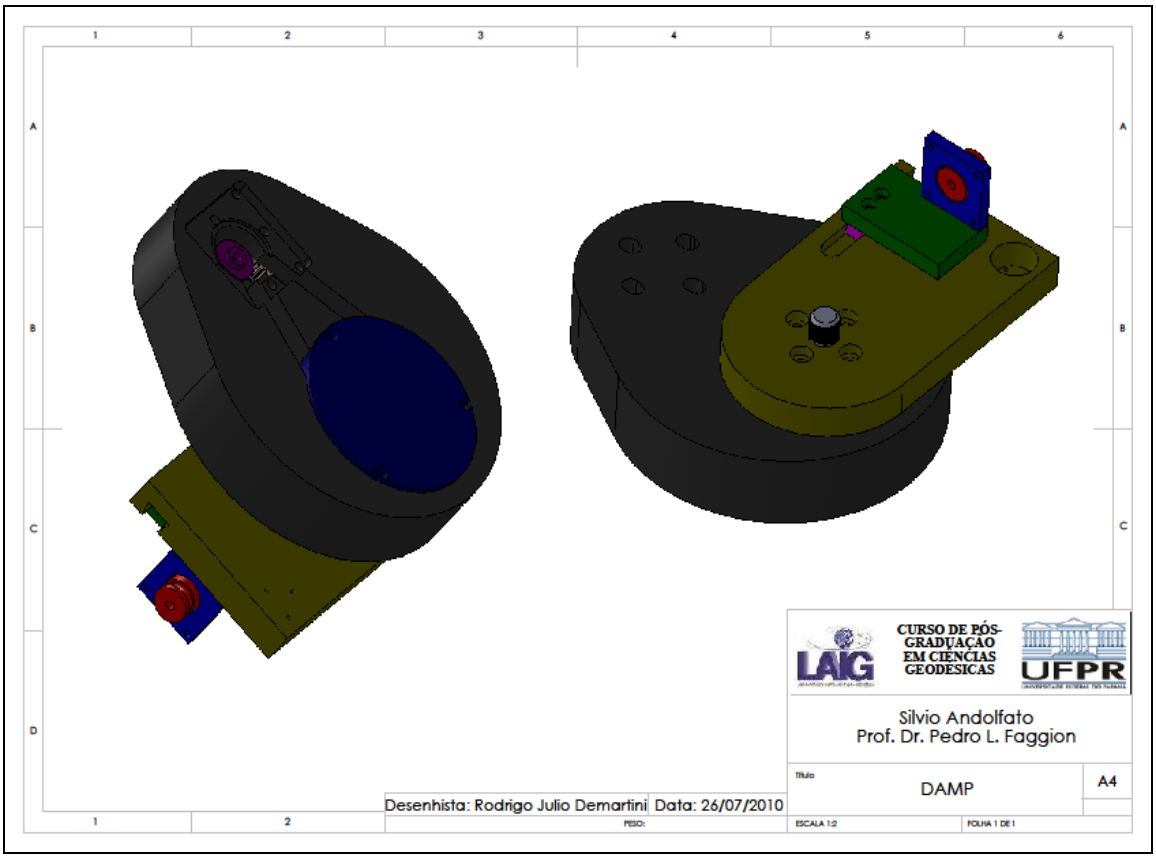


FIGURA 25 – Visão geral do DAMP

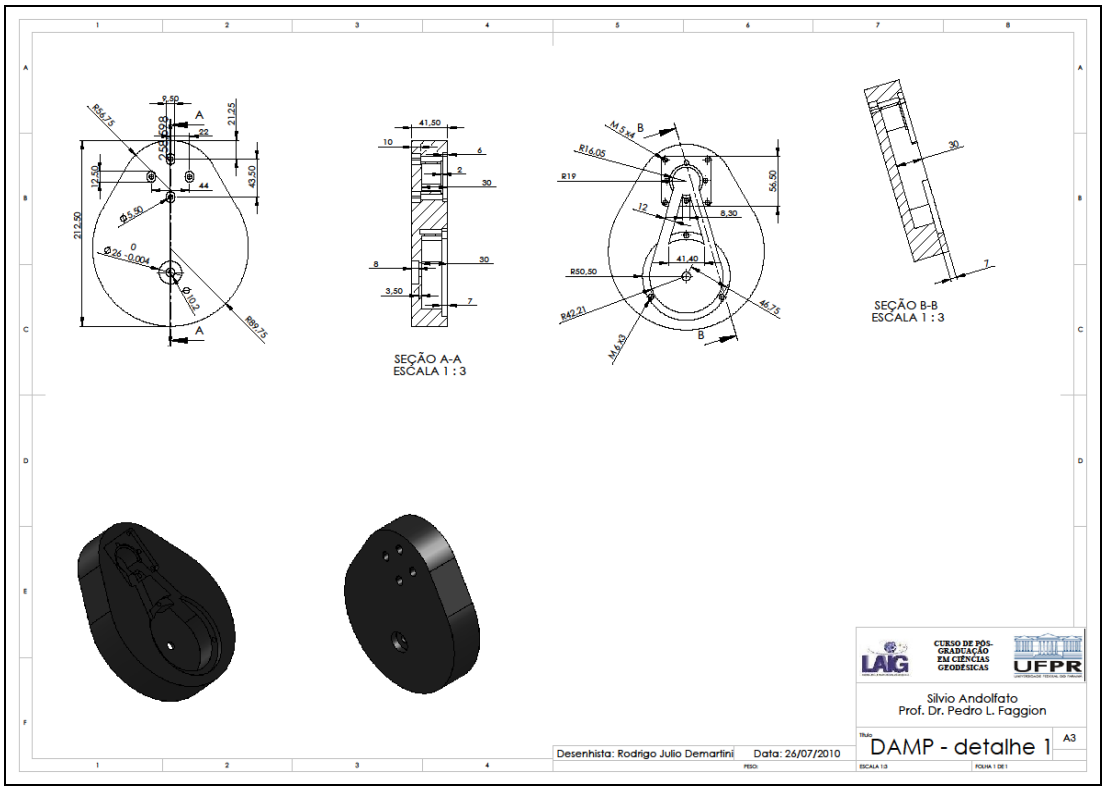


FIGURA 26 – DAMP – detalhe 1 – suporte do DAMP

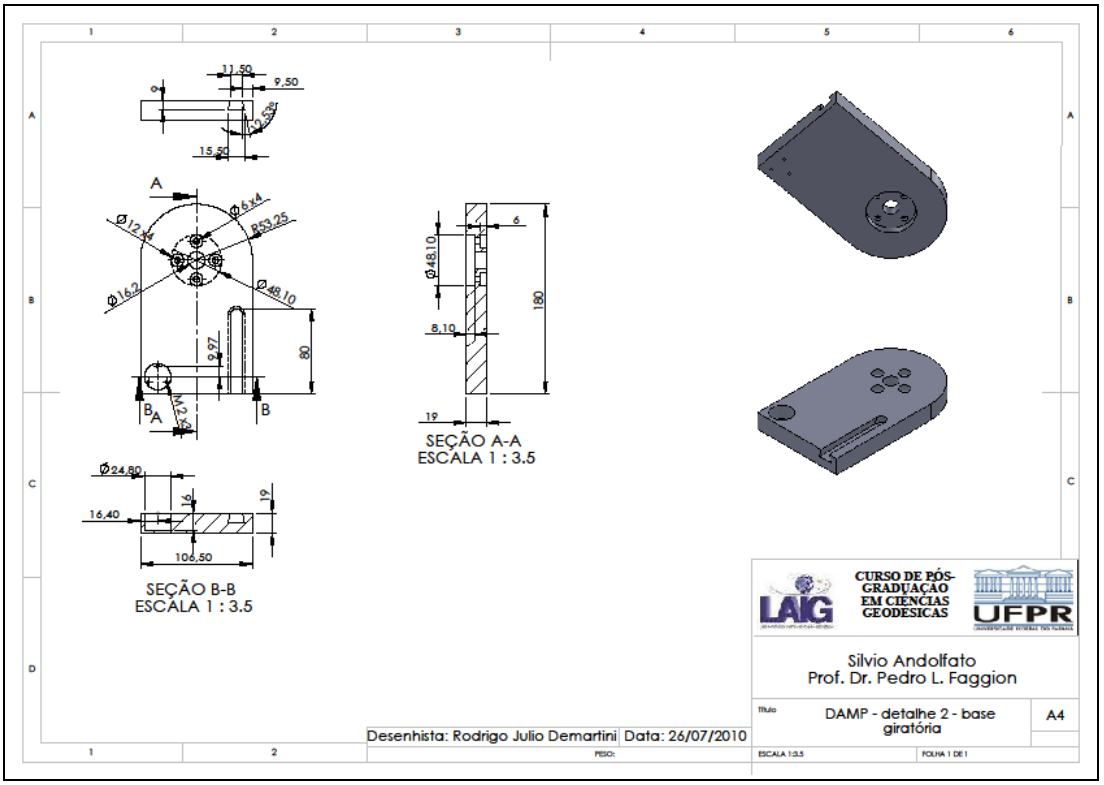


FIGURA 27 – DAMP – detalhe 2 - base giratória

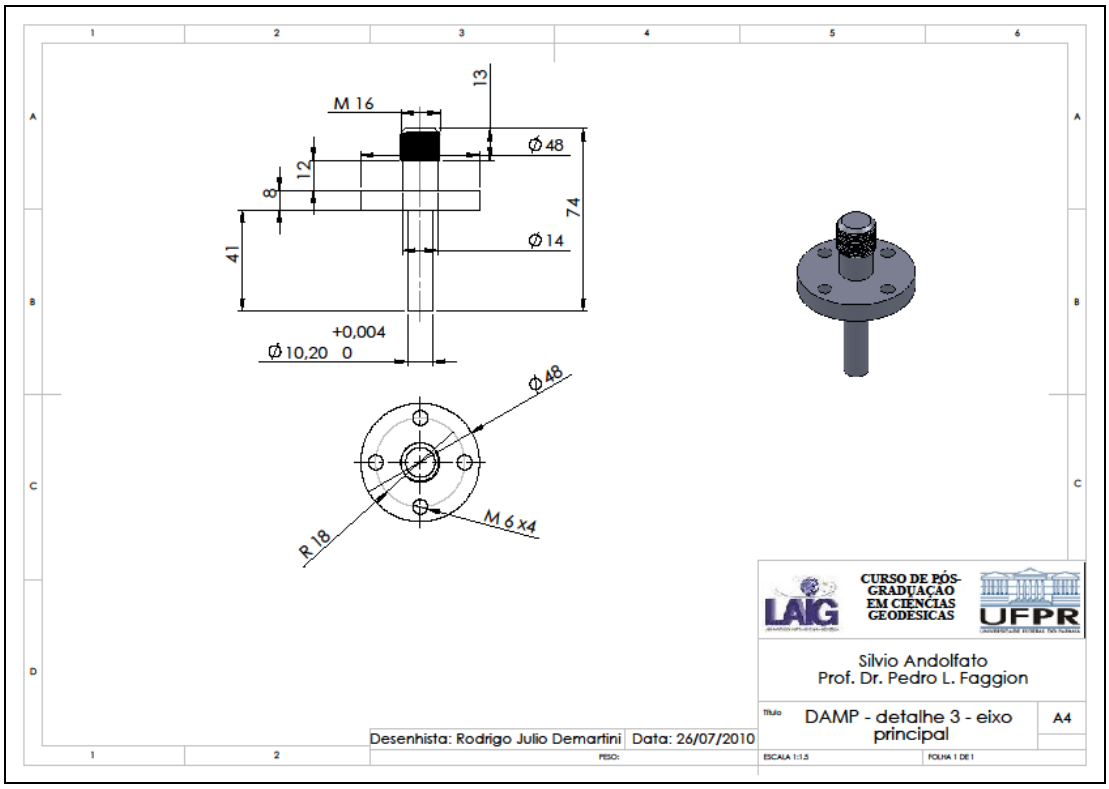


FIGURA 28 – DAMP – detalhe 3 - eixo principal

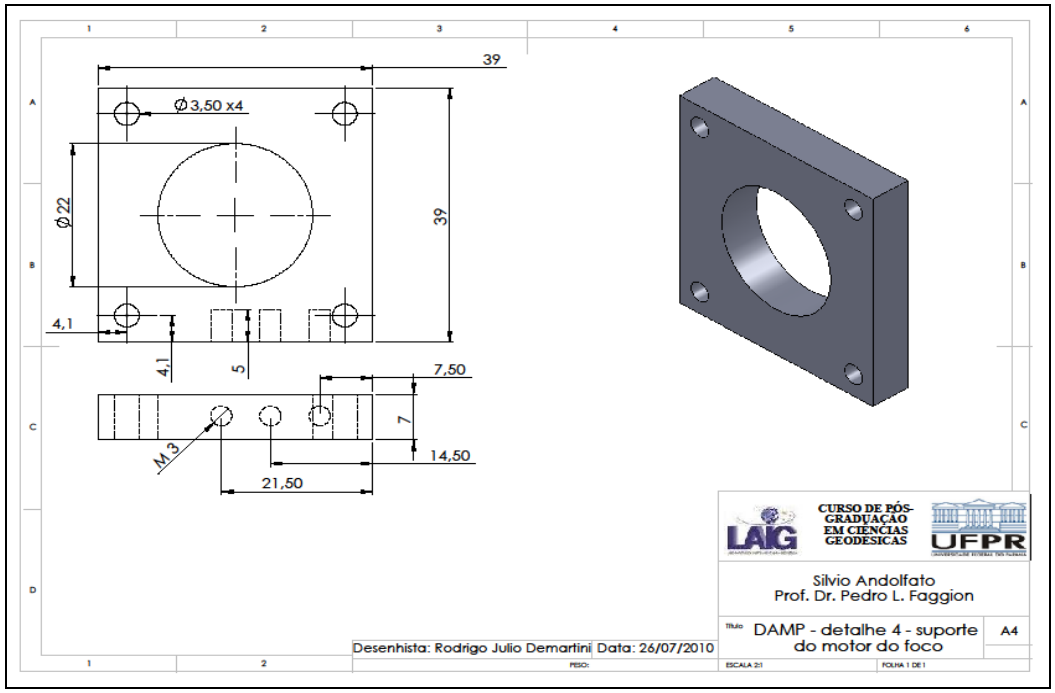


FIGURA 29 – DAMP – detalhe 4 – suporte do motor do foco

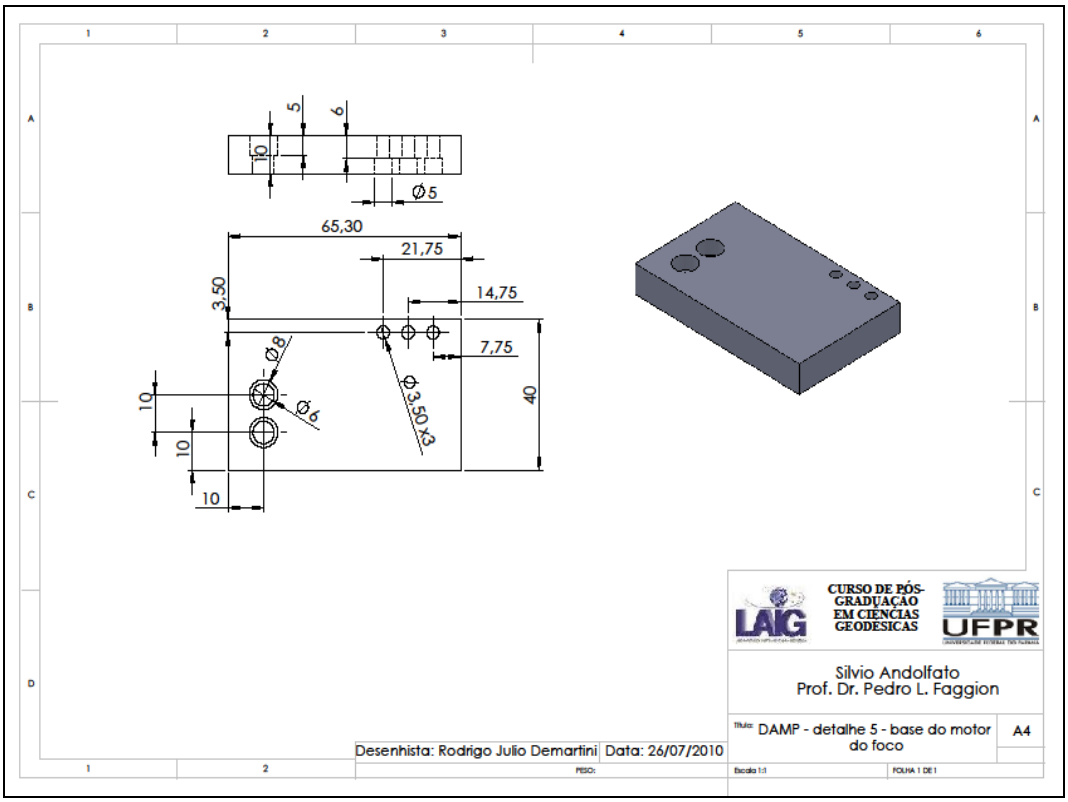


FIGURA 30 – DAMP – detalhe 5 – base do motor do foco

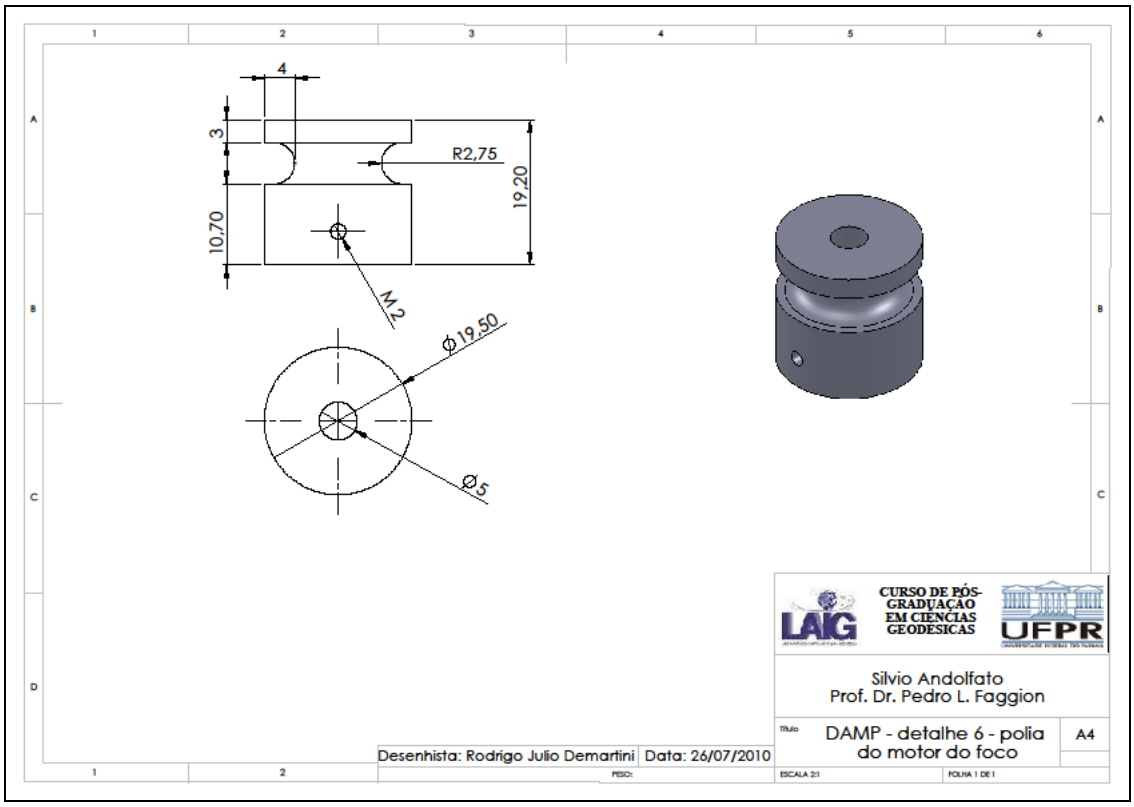


FIGURA 31 – DAMP – detalhe 6 – polia do motor do foco

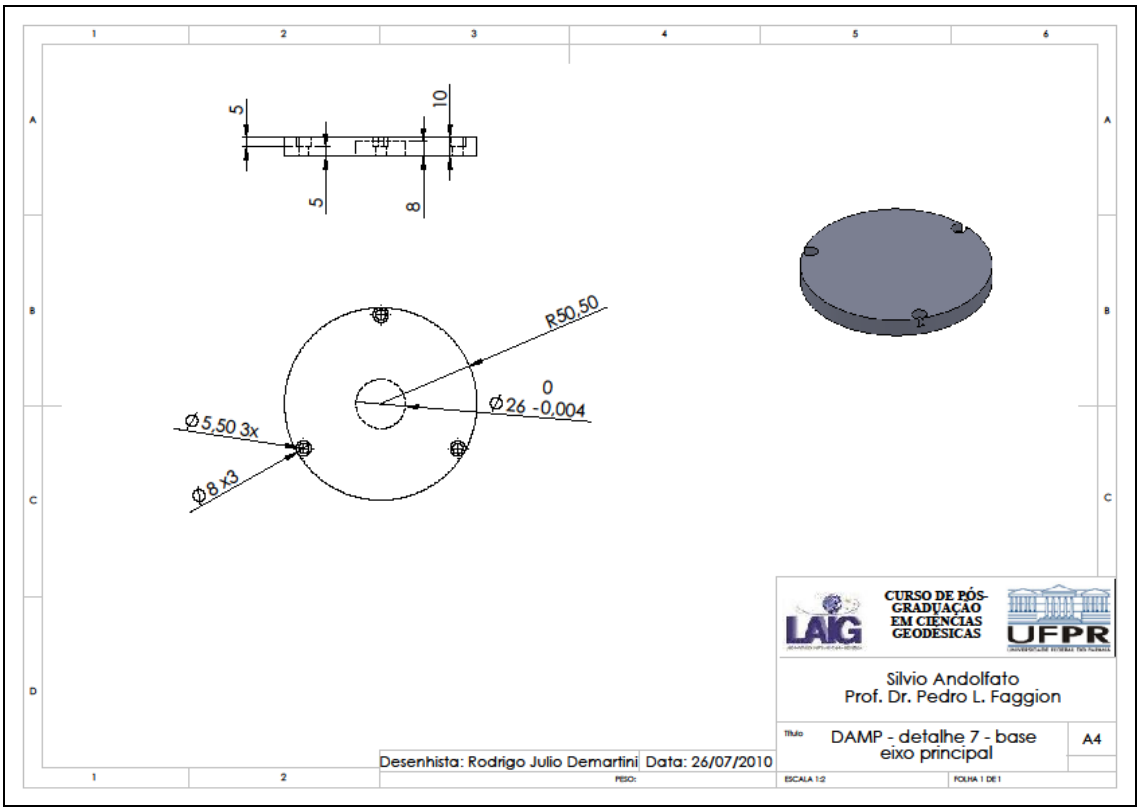


FIGURA 32 – DAMP – detalhe 7 – base do eixo principal

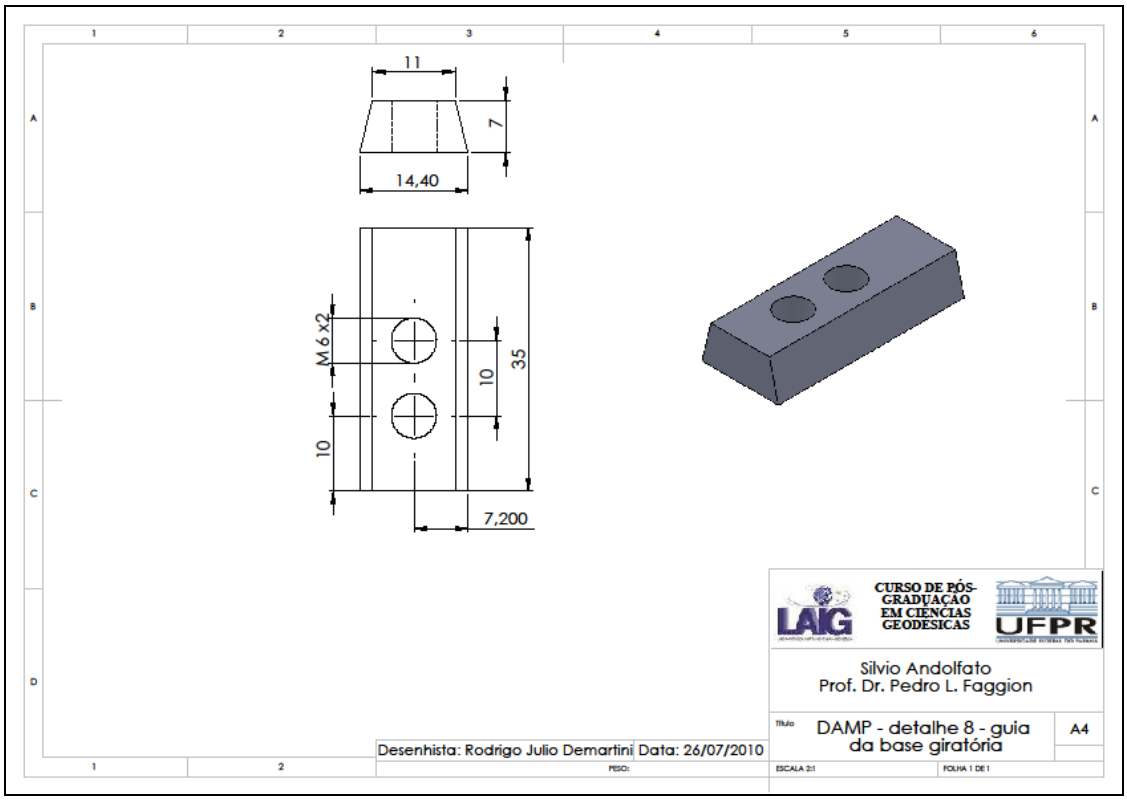


FIGURA 33 – DAMP – detalhe 8 – guia da base giratória

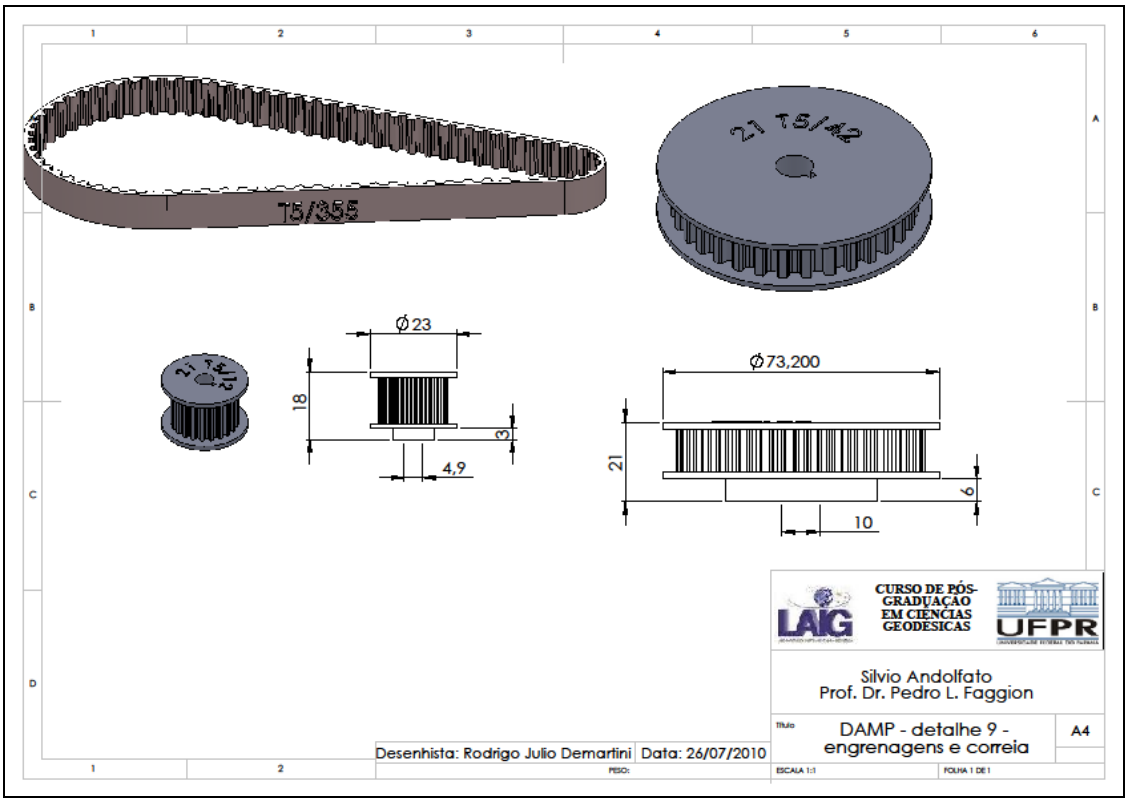


FIGURA 34 – DAMP – detalhe 9 – engrenagens e correia.

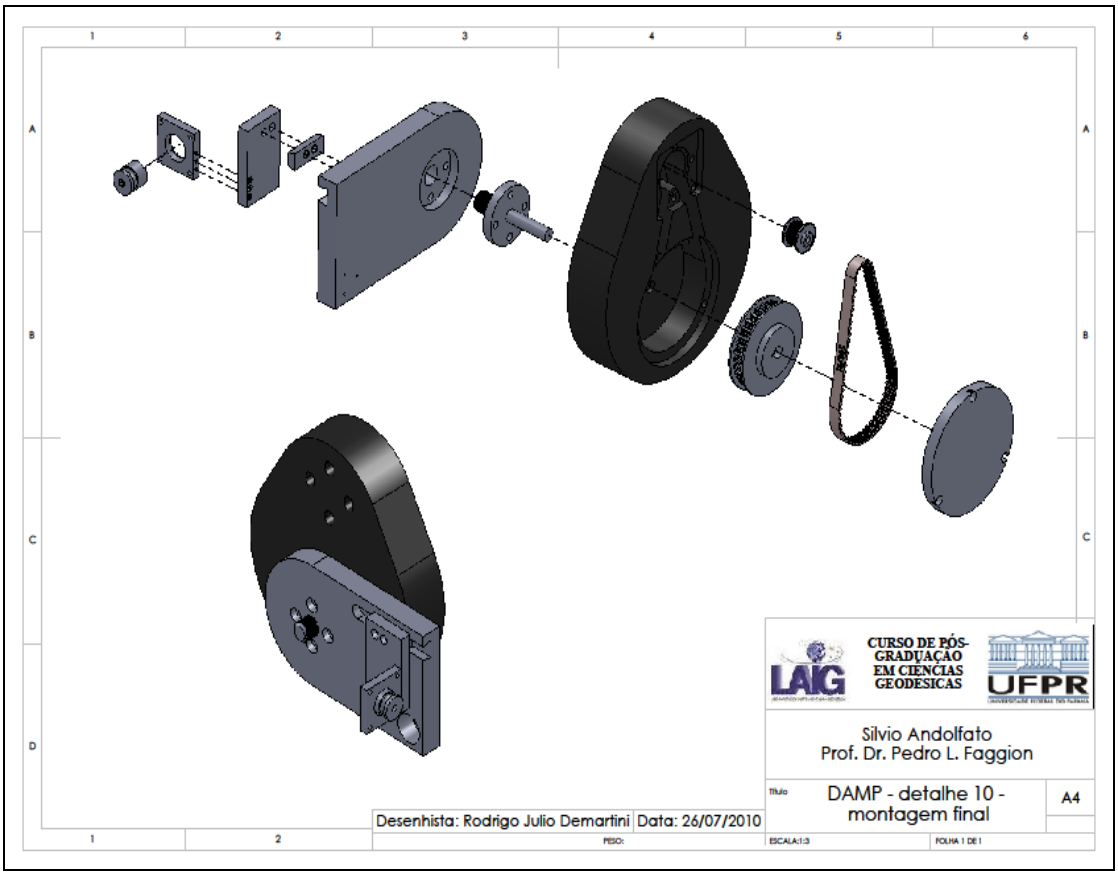


FIGURA 35 – DAMP – detalhe 10 – montagem final

Diante do projeto técnico do DAMP, começou-se a etapa da confecção da peça, através dos serviços especializados de tornearia mecânica. As Figuras 36 e 37 mostram algumas das etapas de criação e confecção do DAMP:

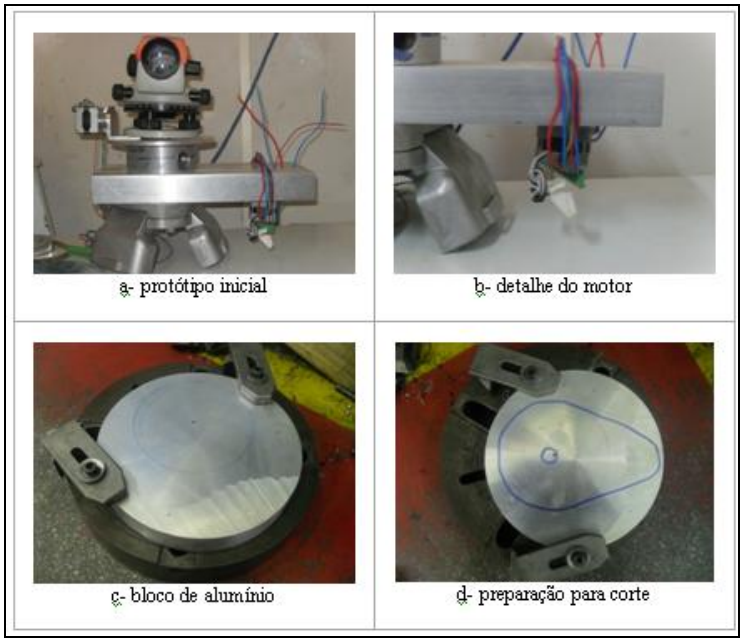


FIGURA 36 – Detalhes das etapas de confecção do DAMP

FIGURA 37 – Detalhes dos serviços de tornearia mecânica para a confecção do DAMP

3.2.1.3 *Driver* de potência

O *driver* AKDMP5-1.7A esquematizado na Figura 38 é usado para acionar motores de passo bifásicos híbridos. O *driver* é equipado com um módulo importado para realizar chaveamento em alta frequência (*chopped*). Possui estabilidade de corrente, performance anti interferência / ruído, performance em alta frequência, isolação óptica para os sinais de entrada, estrutura simples, operação estável, alta confiança e robustez e baixo ruído. Pode acionar uma série de motores de passo bifásico híbrido, NEMA 8, NEMA 11, NEMA 14, NEMA 17, NEMA 23 com corrente menor que 1.7A.

Apresenta como características principais segundo AKIYAMA (2010), Manual do usuário (AKDMP5-1.7A):

- Corrente máxima do *driver* é de 1.7 A;
- Adoção de resistência de sobre corrente, tecnologia patenteada;
- Equipado com componentes eletrônicos importados;
- Divisão de micropasso 1/2, 1/5, 1/10, 1/20, 1/40 ajustável em 5 modos;
- Entradas digitais com isolamento óptico;
- Sinal senoidal de corrente de fase do motor;
- Compatível com os motores de passo Akiyama modelos: AK57HY/5-1.8 e AK39H/12-1.8.

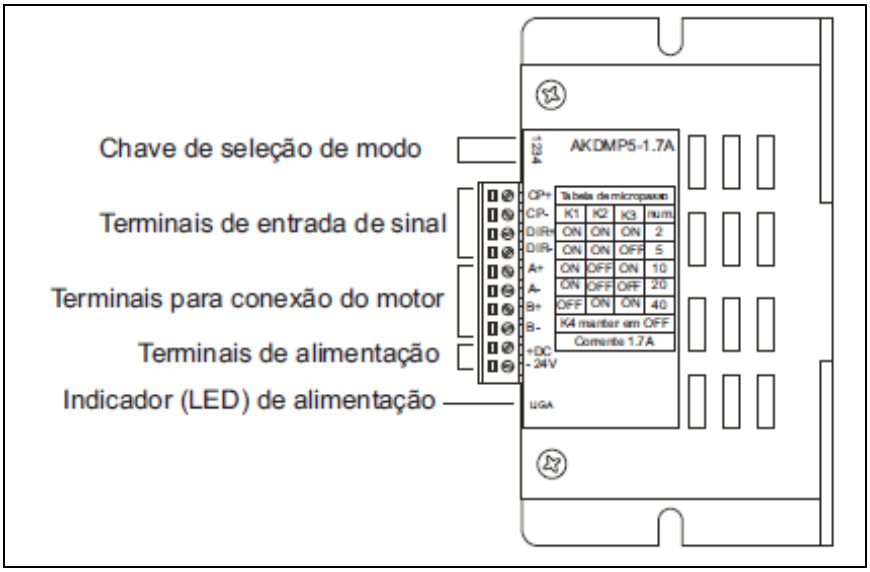


FIGURA 38 – Esquema do *driver* AKDMP5-17A

A Tabela 6 apresenta as chaves de seleção de micropasso:

TABELA 6 – Chaveamento de seleção das divisões do passo

K4 em OFF				
K1	K2	K3	Divisão do passo	Grau passo
ON	ON	ON	2	0.9
ON	ON	OFF	5	0.36
ON	OFF	ON	10	0.18
ON	OFF	OFF	20	0.09
OFF	ON	ON	40	0.045

Para os terminais dos sinais de entrada, utiliza-se um trem de pulsos CP para controlar a posição e a velocidade do motor de passo, o terminal passo recebe este sinal que irá acionar o motor a uma velocidade proporcional a frequência do trem de pulsos. Com isso, o motor de passo pode ser precisamente posicionado pelo controle do número de pulsos em passo. Neste sentido, é conveniente realizar a regulação da velocidade e posicionamento do motor. O sinal requerido em passo é 8-15 mA. Existe certa exigência na largura do pulso (Figura 39), em geral não menor que 5 μS.

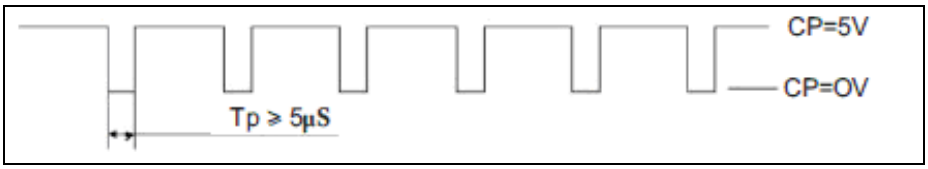


FIGURA 39 – Largura do pulso

FIGURA 40 – Sinais de entrada

O sinal em nível alto (5V), nos terminais Dir+/Dir – , deve acionar o motor de passo no sentido horário, em nível baixo (0V) o motor se move no sentido anti-horário (Figura 40). Nos terminais de saída, Figura 41, devem ser ligados os motores de passo. Os terminais de ligação são:

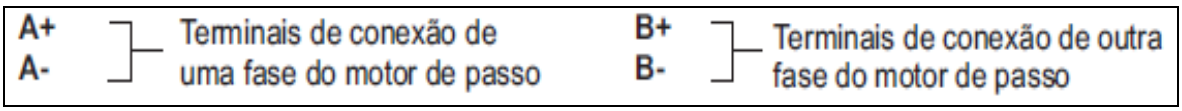


FIGURA 41 – Terminais de ligação de saída.

Os tipos de motores de passo que permitem acionamento bipolar são:

- Motor de uma bobina por fase, ou motor de 4 fios (Figura 42);
- Motor de uma bobina por fase com tap central, ou motor de 6 fios (Figura 43) e;
- Motor com duas bobinas por fase, ou motor de 8 fios (Figura 44).

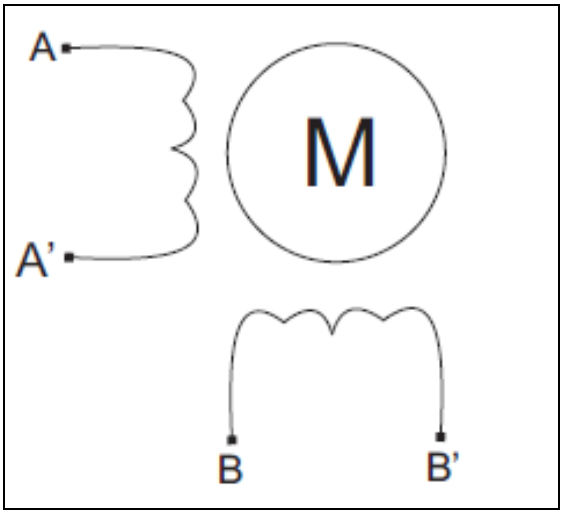


FIGURA 42 – Esquema de motor com 4 fios

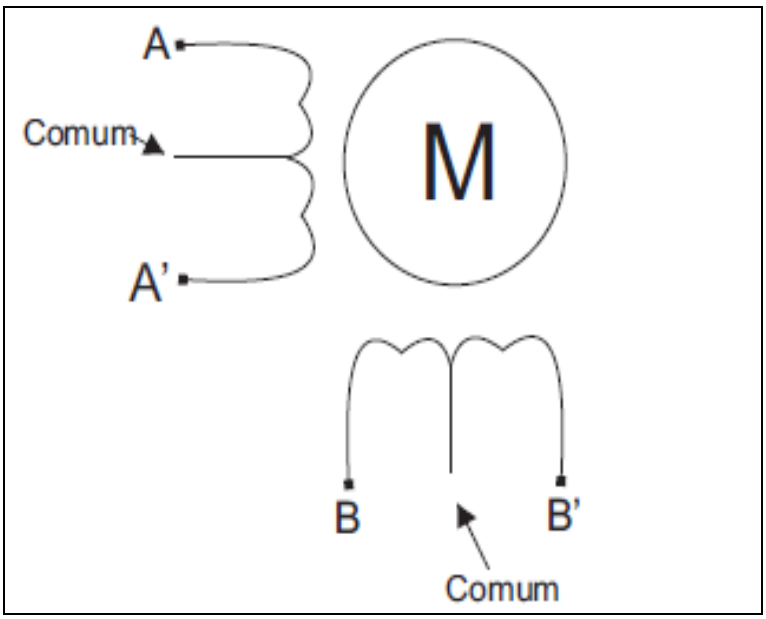


FIGURA 43 – Esquema de motor com 6 fios

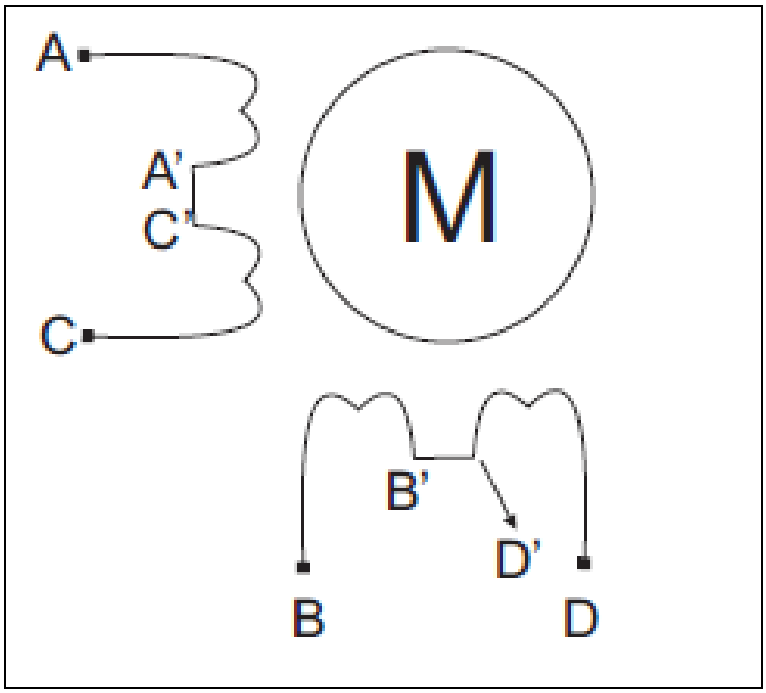


FIGURA 44 – Esquema de motor com 8 fios

Neste trabalho, optou-se por um motor de passo de 4 fios para o movimento de ajuste do foco e outro motor de passo com 8 fios para o movimento de giro horizontal, tendo os seguintes esquemas de ligação, conforme ilustra a Figura 45:

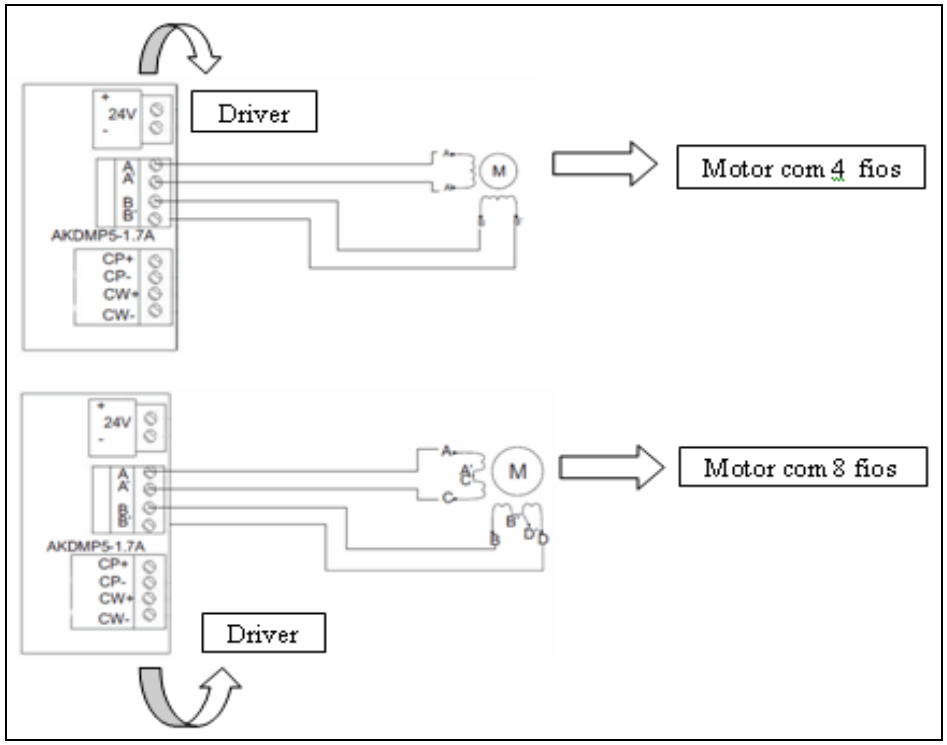


FIGURA 45 – Esquema de ligação dos motores de passo de 4 e 8 fios

As dimensões do *driver* estão de acordo com a Figura 46:

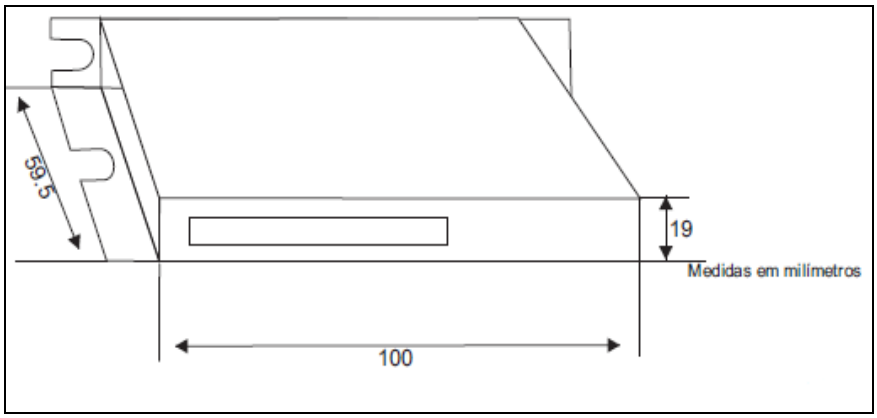


FIGURA 46 – Dimensões do Driver AKDMP5-1.7A

3.2.1.4 Placa microcontrolada para comando dos motores de passo – PMCMP

O sistema de controle, acionamentos e comunicação serial é proveniente de uma placa eletrônica, conhecida popularmente como Roboduino 1.0; a qual é um projeto *open source* (ARDUINO, 2010a). Seus principais componentes e características são:

- Microcontrolador ATMEGA168 ou ATMEGA328;
- Circuito de comunicação com micro-computador ou laptop via USB-Serial;
- Fonte interna e externa com reguladores de tensões.

A Figura 47 mostra a placa desenvolvida, onde se destacam os seguintes elementos:

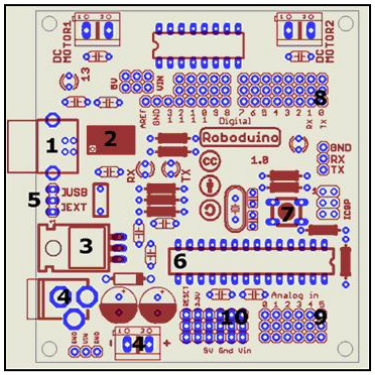


FIGURA 47 – Detalhe da placa microcontroladora

1. Conector USB, para comunicação com microcomputadores e/ou laptops.
2. Circuito integrado responsável pela conversão de sinais USB em serial no padrão RS232.
3. Regulador de tensão LM7805 responsável por disponibilizar 5V para alimentações dos circuitos integrados.
4. Conectores para entrada de tensão de 9 a 12 V.
5. Seletor de entrada de tensão, ou via fonte de alimentação externa ou via USB.
6. Microcontrolador ATMEGA 168 ou 328 dependendo da versão da placa.
7. Chave push-button para reset do circuito.
8. Conector do tipo barra de pinos para entrada ou saída de dados.
9. Conector do tipo barra de pinos para entrada de dados analógica.
10. Conector do tipo barra de pinos para saída de tensões.

Esta placa apresenta ainda as seguintes características:

- 100% compatível com o software do Arduino;
- Conectores de alimentação configuráveis (Vin ou 5V) nos pinos analógicos, digitais e de PWM;
- Alimentação pode ser suprida pela USB, barra de pinos, conector de fonte (P4);
- Conector de barra de pinos dedicado a serial (RX, TX e GND);
- 6 saídas PWM com pinos vizinhos de GND e de alimentação;
- 6 pinos analógicos;
- 14 pinos digitais que servem para entrada e saída;
- Ponte H para 2 motores DC até 1A (12V – Vin Máximo) nativa na placa, não sendo necessário uso de shield para motores em aplicações de robótica;
- ATMEGA328 – 32K Memória flash auto programável – 1K bytes EEPROM – 2K Byte SRAM – 6 canais de ADC 10 bits – TWI interface (I2C compatível) – SPI interface – RS232 interface – Comparador Analógico – Watchdog Timer – 6 PWM Channel – Real Time Counter – External and Internal Interrupt – Two 8 bit and one 16 bit timer;
- Pode ser programada e reprogramada milhares de vezes;
- Sem necessidade de configuração de *fuse bits*;
- Placa de circuito impresso de alta qualidade;
- Proteção contra inversão de polaridade nos conectores de alimentação;

- Chave de reset de fácil acesso;
- Quatro furos nos cantos que permitem uma montagem estável;
- Pode ser programada por STK500 / AVR ISP (conector ICSP).

A Figura 48 identifica a função de cada um dos pinos do Arduino no ATMEGA. As funções são as mesmas nas versões 168 e 328.

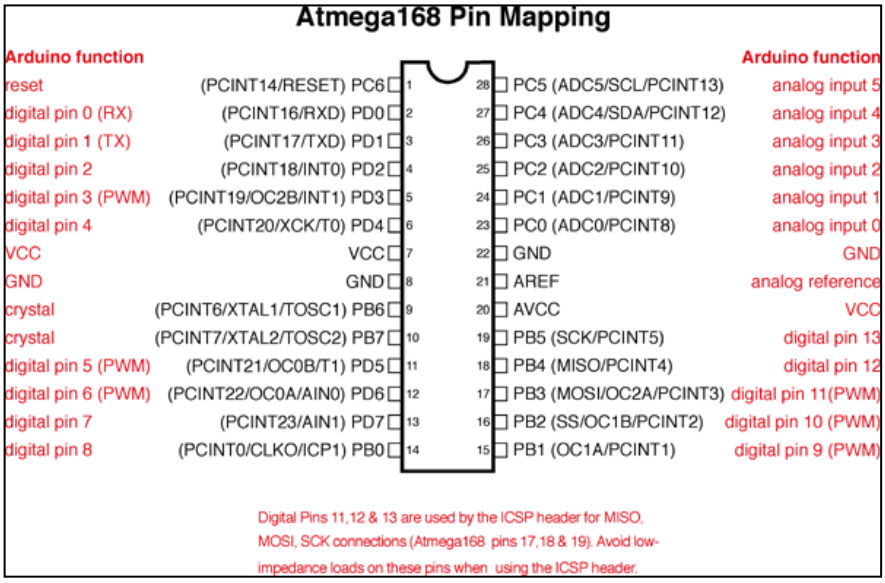


FIGURA 48 – Esquema da pinagem do microcontrolador ATMEGA 168
Fonte: Arduino, 2010b

A programação do microcontrolador deve ser elaborada no software Arduino Alpha V. 0018, o qual também é *open source* e pode ser obtida na internet (ARDUINO, 2010b).

Após o desenvolvimento do código, deve-se selecionar qual é o modelo do microcontrolador que será utilizado e selecionar a porta serial pela qual será feito a gravação.

O código deverá ser compilado (pressionando Ctrl+R) e gravado no microcontrolador (pressionando F7), a gravação será feita pela própria placa via comunicação serial, através da porta USB.

Foi elaborado um protocolo para fazer a comunicação com o microcontrolador, o qual será recebido via porta serial e interpretado. Neste protocolo são enviados dados de sentido de movimento do(s) motor(es), quantidade de movimentos e também a velocidade de movimentação.

Como exemplo deste aplicativo, em se atribuindo o comando “**MD100V0”** obtém-se o seguinte significado:

- M é o caractere que determina o início do protocolo,
- D é o sentido do giro, ou seja, para direita,
- 100 é a quantidade de movimentações que o motor deverá fazer para a direita,
- V0 é a variável determinante para a velocidade, que neste caso são trens de pulso de 10ms.

Estes dados são enviados para as interfaces/drives que fazem os acionamentos e/ou movimentações dos motores. Em seguida, são enviados a estes drives trens de pulso que determinam a velocidade em que os motores deverão ser movimentados e também níveis de tensão que determinam o sentido do giro (horário ou anti-horário).

A última versão disponível pelo projeto *open source* Arduino é a V0018 e pode ser encontrada no site do projeto (ARDUINO, 2010a). Para se construir um código mais coerente e com uma sintaxe adequada, há no próprio site do projeto (ARDUINO, 2010a), referências de códigos, rotinas, funções, estruturas, entre outros dados.

Pode-se ver na Figura 49 a tela do software, onde é exibida a rotina que fica recebendo os dados via porta serial, e em seguida chama a rotina *serialReadDados* para fazer o tratamento dos dados recebidos. Ressaltando que só irá entrar nessa rotina se o primeiro caractere recebido for ‘M’.

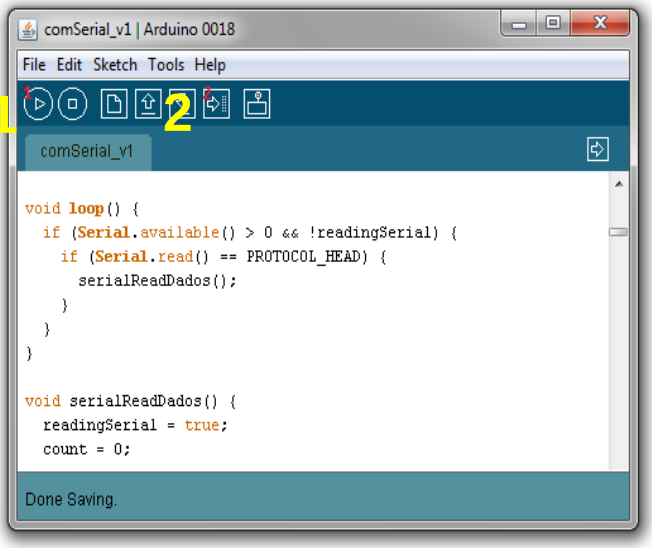


FIGURA 49 – Detalhe da tela do *software* Arduino

Para que se possa efetuar o envio de dados ao microcontrolador, deve-se acessar o menu Tools > Board e selecionar o modelo do microcontrolador. Após, deve-se acessar o menu Tools > Serial Port e selecionar a porta serial gerada pelo circuito da placa a qual será utilizada.

Para compilar o código pode-se pressionar as teclas Ctrl+R ou apenas clicar no ícone marcado na Figura 49 com o número 1, e para efetuar o envio dos dados pressionamos a tecla F7 ou clicando no ícone com o número 2.

3.2.2 *Software* Sistema de Automação do Movimento do Nível – SAMN – versão 1

Este *software* foi elaborado e desenvolvido utilizando a linguagem *Basic*, com o compilador Visual Basic 6; utilizando como banco de dados o mySQL 5 que tem sua distribuição gratuita para projetos livres de comercialização.

A Figura 50 mostra a tela principal do *software*, destacando-se as principais funções:

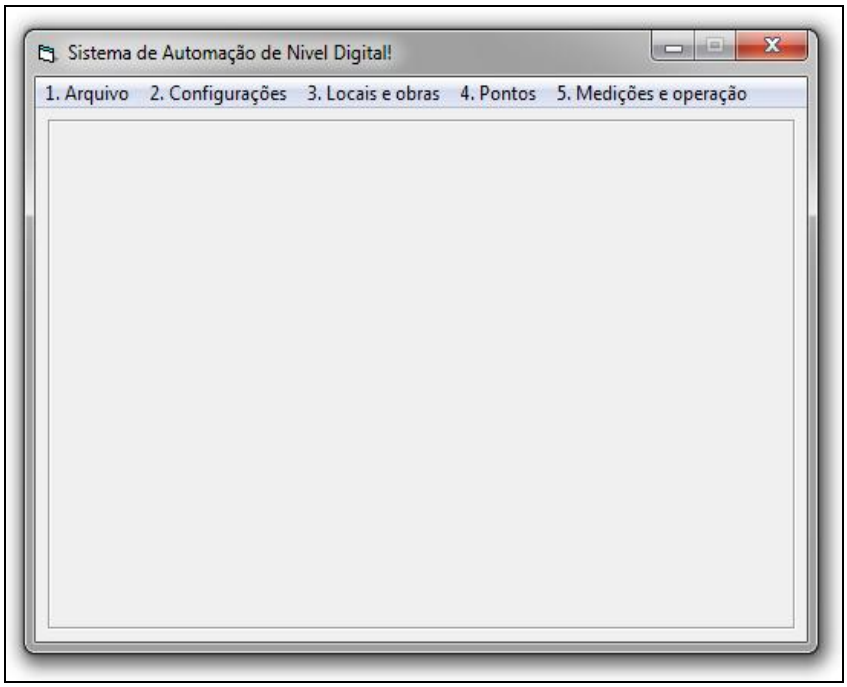


FIGURA 50 – Detalhe da tela principal mdo *software* SAMN

- Realizar a comunicação com o nível digital, enviando ao mesmo um comando para aquisição dos dados e recebendo a resposta do nível, que é no formato string;
- Efetuar a comunicação com a placa PMCMP para acionamento dos motores de passos;
- Registrar no banco de dados os valores coletados pelo nível digital, armazenando dados de altura, distância, ponto de marcação e obra;
- Efetuar as marcações de obras e pontos de marcação.

A seguir, tem-se um fluxograma do software utilizado, acompanhado de uma descrição resumida de cada comando, a saber:

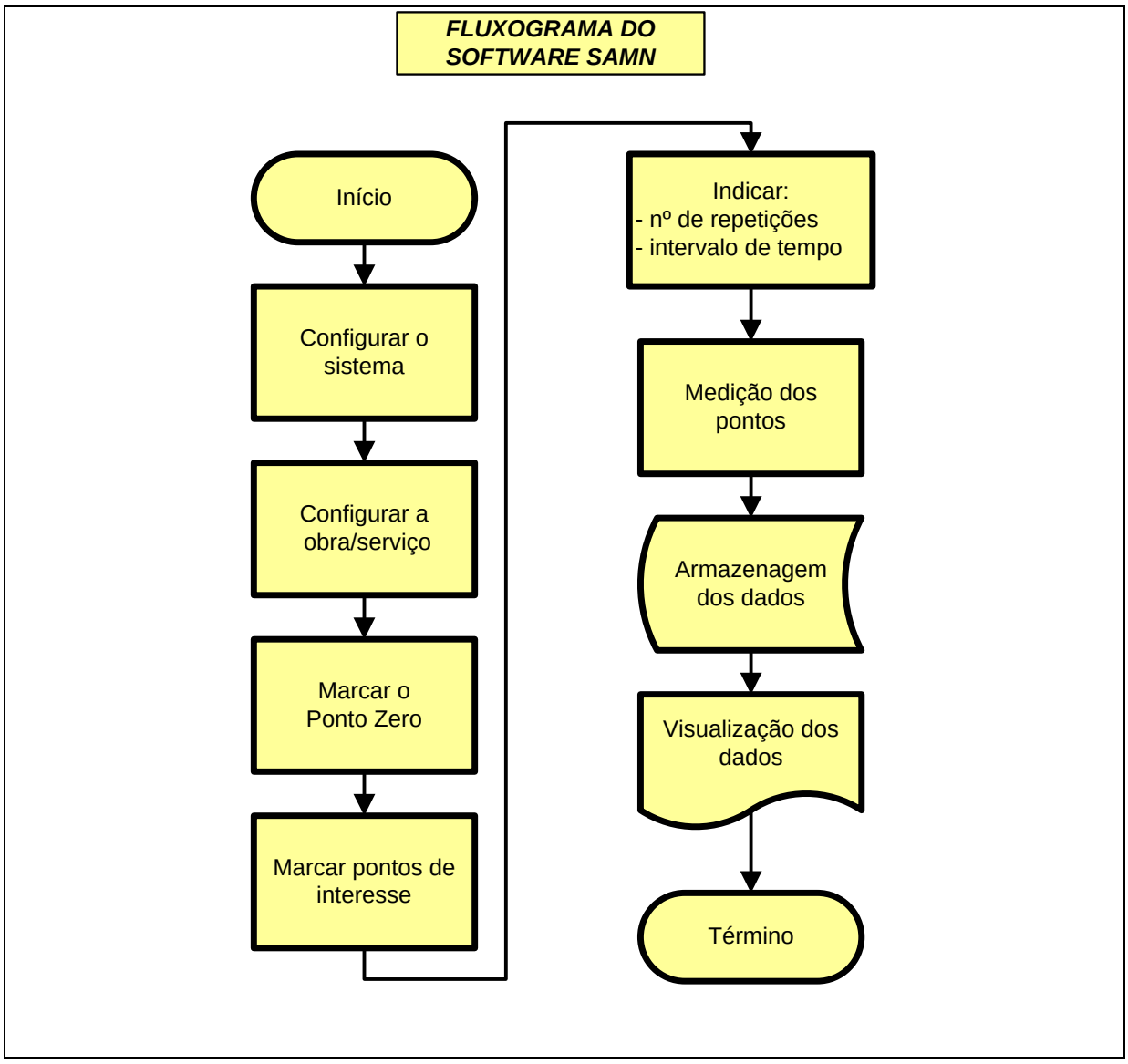


Figura 51 – Fluxograma do Software SAMN

1. Arquivo

> Sair:

Ao acessar essa função o operador irá fechar o sistema.

2. Configurações

> Portas serial, *baud rates*

Esse menu deverá ser acessado pelo operador para selecionar quais serão as portas seriais utilizadas, e quais delas dizem respeito à entrada de dados do nível digital e da placa PMCMP.

3. Locais e obras

> Cadastro de obra/local:

Acessando esta função irá aparecer uma nova tela para o operador cadastrar uma nova obra no sistema, o mesmo deverá preencher todos os campos exigidos e clicar em Salvar.

> Edição e exclusão:

Se por algum motivo for necessário a exclusão ou edição de dados de uma obra existente será este o menu que o operador deverá acessar, uma nova tela será exibida para que o mesmo selecione qual é a obra e em seguida ele poderá editar os dados ou então excluir a obra do sistema.

> Visualizar medições:

Através deste *menu*, o operador poderá visualizar dados de medições das obras registradas no sistema; bastando apenas que o mesmo de um duplo clique sobre a obra a ser visualizada e em seguida o sistema irá apresentar um relatório no formato texto, conforme Figura 52.

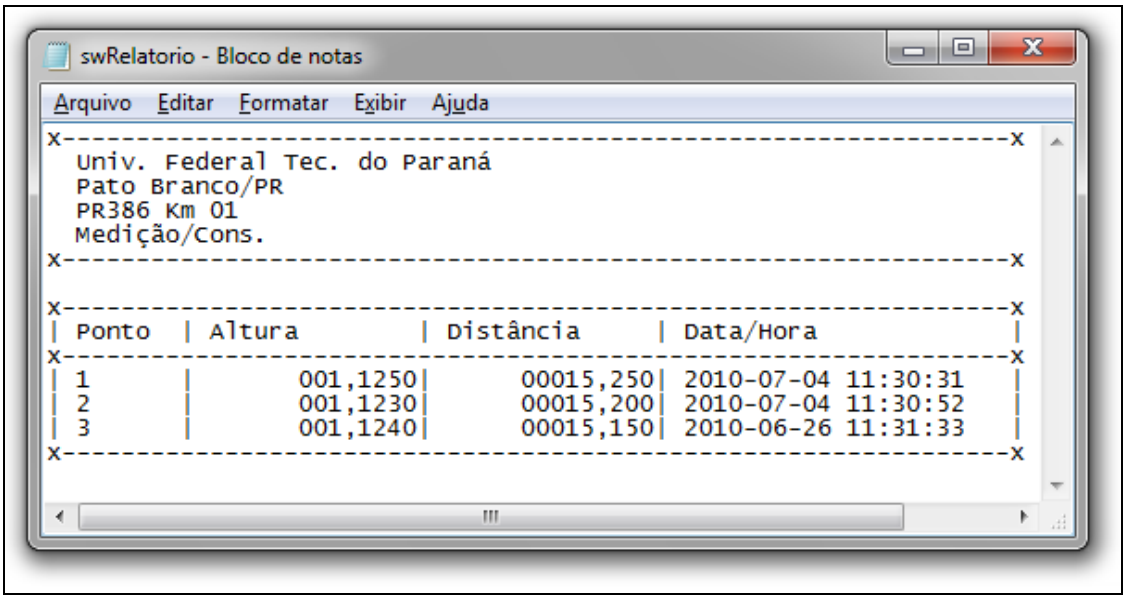


FIGURA 52 – Detalhe do relatório das observações realizadas

4. Pontos

> Deslocar ao ponto zero:

Um ponto aleatório, chamado de ponto zero, deverá ser marcado para se começara a contagem dos passos dos motores. Clicando neste item, o sistema irá efetuar comunicação com a placa PMCMP ordenando que a mesma se comunique com os *drivers* dos motores de passo para que efetue o deslocamento ao ponto zero, ao término da movimentação dos motores o sistema irá receber uma resposta da placa dizendo que eles já se encontram no ponto zero.

> Marcar ponto zero (0)!:

Acessando este menu, o operador poderá movimentar os motores para a direita (D) ou para esquerda (A) para a movimentação horizontal, para frente (W) ou para traz (S) para a movimentação do ajuste do foco, livremente até que chegue ao ponto determinado como zero, a movimentação dos motores será através das teclas D, A, W e S respectivamente.

> Marcar pontos:

Selecionando esta opção o operador poderá gravar um ponto em uma determina obra e/ou localidade, deverá selecionar primeiramente qual é a obra/local que deseja marcar o ponto. Em seguida uma nova tela será exibida, com os dados da referida obra, e o número do

ponto a ser marcado (auto incrementável), nesta tela também será exibida as movimentações dos motores para deslocamento (direita e esquerda) e dos motores de foco (frente ou traz). A movimentação dos motores será através das teclas do teclado pressionando a tecla A movimenta o motor para esquerda, a tecla D para a direita, a tecla W para frente e a tecla S para traz. Quando o operador movimentar os motores até o ponto a ser gravado, o mesmo deverá clicar no botão *salvar marcação*.

> Limpar marcações de uma obra:

Esta função servirá para que o operador efetue a limpeza dos registros de pontos de uma determina obra, ao acessar este item uma nova tela será exibida para que o operador selecione qual é a obra que deseja efetuar a exclusão dos registros; deverá efetuar duplo clique sobre a obra.

5. Medições e operação

> Ciclo de aquecimento:

Esta função irá efetuar um ciclo de movimentações aleatórias e repetitivas dos motores de passo que fazem a movimentação do nível digital. Este ciclo normalmente demora cerca de 2 minutos.

> Iniciar modo automático:

Esta é a opção que efetivamente irá efetuar as medições dos pontos. Primeiramente, o operador seleciona qual será a obra a ser medida, em seguida uma nova tela será exibida para que o mesmo informe quantos ciclos de medições deverão ser executados e qual será o intervalo de tempo caracterizado como tempo de espera entre os ciclos.

Ele poderá conferir todos os dados da obra selecionada, a quantidade de pontos que foram registrados para tal obra. Para iniciar o clico, o operador deverá clicar no botão *iniciar operação*. Haverá um "*label*" (quadro) na tela que ficará informando em qual ponto o sistema está se deslocando/efetuando medições, e qual é o ciclo de medição.

Vale ressaltar que só é possível efetuar medições de dados, através deste módulo do sistema.

- Considerações sobre a operação com o processo automático:

A seguir, tem-se mais detalhadamente o processo de operação em modo automático, o qual pode ser acessado através do menu Medições e operação > Iniciar modo automático.

Ao acessar a função *iniciar modo automático,* o operador seleciona qual será a obra a ser medida, em seguida uma nova tela será exibida para que o mesmo informe quantos ciclos de medições deverão ser executados e qual será o intervalo de tempo caracterizado como tempo de espera entre os ciclos, que deverá ser informado em minutos. Poderá conferir todos os dados da obra selecionada e também a quantidade de pontos que foram registrados para tal obra.

Para iniciar o ciclo, o operador deverá clicar no botão *iniciar operação*. Haverá um "*label*" (quadro) na tela que ficará informando em qual ponto o sistema está se deslocando/efetuando medições, e qual é o ciclo de medição.

Ao iniciar esta operação, o sistema irá checar se os motores estão na posição denominada como ponto zero. Em seguida, o sistema irá enviar o protocolo para a placa PMCMP requisitando que a mesma se movimente ao ponto um, o sistema irá receber uma confirmação da placa que está nesta posição; em seguida, o sistema envia o protocolo para a placa PMCMP para que movimente o motor de foco, ajustando o foco da posição um. Recebendo o retorno da placa, o sistema agora enviará uma requisição ao nível digital através da porta serial, enviando o comando *GET/M/WI32/WI330* (comando do padrão Leica – formato GSI); este comando está requisitando o retorno de dados de distância e leitura do fio nivelador (altura). O sistema aguarda a mensagem do nível digital, que irá retornar uma *string* com várias informações básicas e também os valores que foram requisitados (WI32 para a distância e WI330 para a altura).

Recebendo essa *string,* o sistema irá decodificá-la e capturar os valores já formatados em "metros"; em seguida, será efetuado a inclusão destes dados, o número do ponto medido, data e hora, no banco de dados mySQL 5.

Caso o nível retorne uma mensagem de erro ou demore muito para retornar uma resposta, o sistema irá efetuar um novo envio do comando *GET/M/WI32/WI330* (LEICA, 2003). Terminando a medição, o sistema solicitará que o motor de movimentação se desloque ao segundo e/ou próximo ponto e da mesma forma irá aguardar o retorno da placa PMCMP, para posteriormente enviar a solicitação de movimentação do motor de foco.

O processo de medição é igual ao comentado anteriormente e se repete para todos os pontos.

Quando o sistema efetuar a medição do último ponto registrado, o mesmo irá requisitar à placa PMCMP que desloque os motores ao ponto zero. Caso o operador tenha informado um valor maior que 1 (um) ao campo quantidade de ciclos o sistema irá retornar novamente a medição de todos os pontos, até que se repita a sequência para o último ciclo. Quando a medição de todos os pontos e todos os ciclos tiver sido concluída o sistema irá aguardar o tempo informado pelo operador, que seria o tempo de espera entre ciclos. Decorrido este tempo, o processo se repete.

4 RESULTADOS

4.1 TESTES REALIZADOS COM OS NÍVEIS DIGITAIS E A MIRA

A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos, com os dois níveis utilizados, com seus respectivos gráficos (Figura 53), para o experimento realizado nos item 3.1.1. Nota-se que neste experimento, ocorreu uma discrepância na distância de 20 m para o nível DNA, tendo sido repetido o teste obtendo-se o mesmo resultado.

Este teste serviu para mostrar que é possível utilizar apenas um segmento do código de barras da mira, considerando que nesta pesquisa foi confeccionada uma mira com dimensão menor, para ser utilizada como alvo nas medições.

TABELA 7 – Intervalo mínimo da mira para medição com os níveis

Distância nível – mira (m)	**Intervalo na mira (cm)**	
	DNA03	**NA3003**
5	11	13
10	18	26
15	29	41
20	62	48
25	53	57
30	50	70

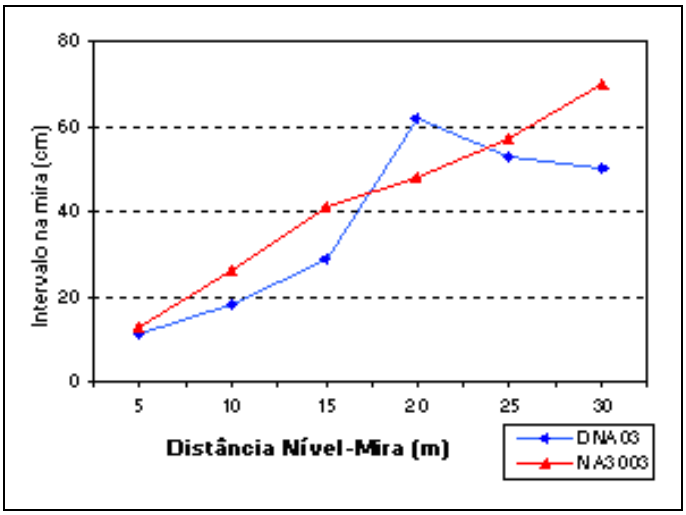


FIGURA 53 – Gráfico do intervalo na mira necessário em função das distâncias nível-mira

Para o movimento do giro do micrômetro, descrito no item 3.1.2, a Tabela 8 apresenta as observações realizadas.

TABELA 8 – Movimento em graus do micrômetro para ajuste do foco dos níveis

Distância nível - mira(m)	**Movimento (em ° - sentido horário)**	
	DNA03	**NA3003**
5	0	0
10	30	24
15	36	36
20	43	42
25	48	47
30	50	48

Constatou-se através de experimentos que é necessário se ter uma perfeita nitidez na imagem dos fios estadimétricos, pois quando a imagem não está nítida, os equipamentos não conseguiam efetuar a leitura na mira (Figura 54). Somente com o perfeito ajuste na focalização dos fios estadimétricos e do fio nivelador, foi possível a realização das leituras (Figura 55).

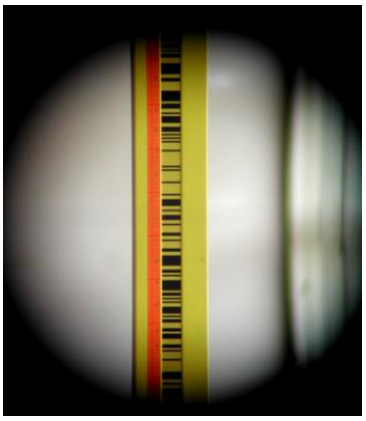


FIGURA 54 – Visada realizada sem a focalização dos fios estadimétricos

FIGURA 55 – Visada realizada com a perfeita focalização dos fios estadimétricos

De acordo com os manuais técnicos dos níveis digitais DNA03 e NA3003, tem-se, que para estes níveis da Leica, o campo de visão é de dois graus (2°). Para atestar estes experimentos, calculou-se o ângulo de visão para as leituras realizadas, conforme ilustra a Figura 56:

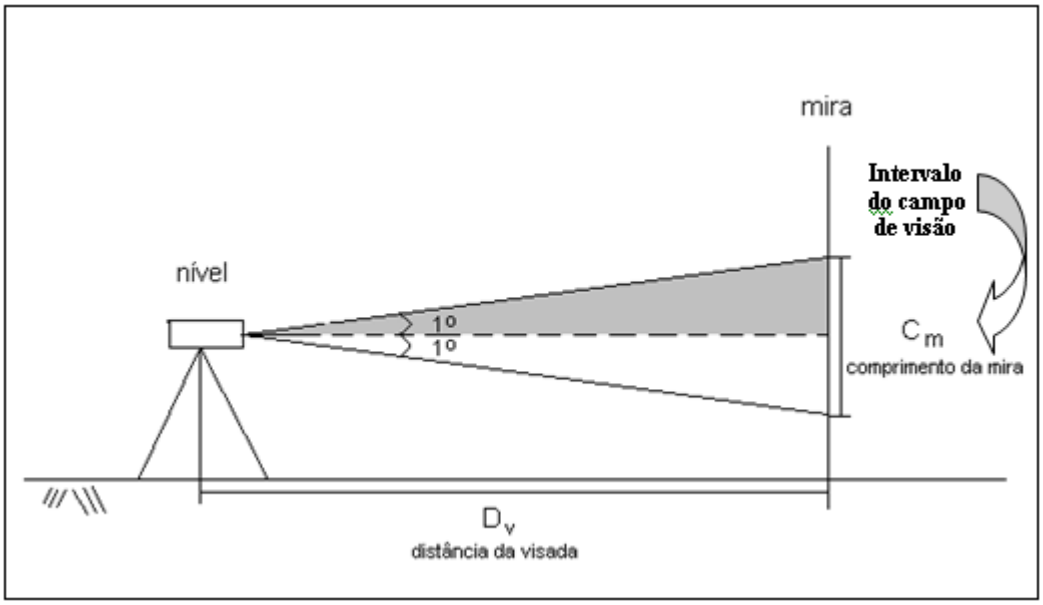


FIGURA 56 – Esquema da visada e o ângulo do campo de visão de 2°

Considerando a simetria do campo de visão, tem-se que:

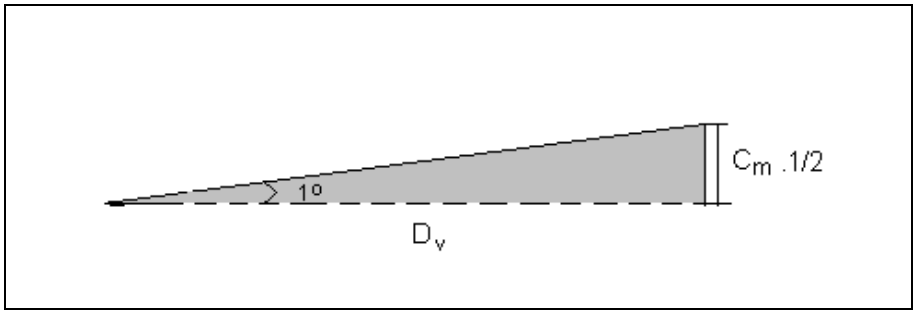


Figura 57 – Detalhe do campo de visão de 1°

Então, pelo uso da função trigonométrica da tangente, tem-se o seguinte:

$$\tan\alpha = \frac{\frac{C_m}{2}}{D_v} = \frac{C_m}{2D_v}$$

$$\alpha = \arctan \frac{C_m}{2D_v}$$

Assim, foram calculados (Tabela 9) os ângulos do campo de visão (α) para cada nível digital, obtendo-se os seguintes valores:

TABELA 9 – Ângulos do campo de visão em função da visada

Distância nível – mira (m)	**Ângulo α (' ")**	
	DNA03	**NA3003**
5	37 48,8	44 41,0
10	30 56,3	44 41,0
15	33 13,8	46 58,7
20	53 16,8	41 15,0
25	36 26,3	39 11,0
30	28 38,8	40 06,3
Média	**36 43,5**	**42 49,0**

Observa-se que os valores encontrados pelo nível DNA03 são menores que os do nível NA3003. Isto pode indicar que, como o nível DNA03 é uma geração mais nova que o NA3003, houve uma melhoria no sistema ótico do nível DNA em relação ao NA.

O fato para os valores que ficaram abaixo de 1°, pode ser devido ao fato de que, as regiões da mira, acima do fio estadimétrico superior e abaixo do fio estadimétrico inferior, foram cobertas pelos anteparos utilizados, sendo então de se esperar valores menores que 1°.

Com a análise dos resultados constatou-se que o comprimento mínimo necessário da mira com código de barras, considerando os dois equipamentos testados, foi de 70 cm, pois o intervalo máximo obtido pelo nível NA3003 foi de 70 cm para uma visada de 30 m e para o nível DNA03 foi de apenas 62 cm, para 20 m, fazendo com que o intervalo de 70 cm satisfaça ambos os equipamentos em uma distância nível-mira de no máximo 30 m.

Quanto ao movimento do micrômetro para ajuste do foco, mesmo considerando que para esta observação foi utilizado um sistema expedito de graduação, verificou-se que houve um giro de aproximadamente 50° no micrômetro. Este giro satisfaz os dois equipamentos para a visada de até 30 m, que de acordo com o manual técnico destes equipamentos, mesmo com uma ligeira desfocagem da imagem, é possível ainda realizar tais medições. Em caso de grandes erros de focagem, a medição é interrompida (LEICA, 2004).

Quanto à construção das miras (alvos confeccionados), descrita no item 3.1.3, percebeu-se que neste experimento, não houve variação significativa das leituras realizadas

nos alvos com os elementos plotados, onde a variação da leitura está na ordem do centésimo do milímetro, tanto nas leituras realizadas com a Mira original (Ré) quanto nos alvos confeccionados (Vantes 1 e 2), mostrando assim que estes podem ser utilizados. Ainda assim, testes preliminares de calibração dos alvos confeccionados foram realizados, com o Interferômetro, obtendo as diferenças mostradas na Tabela 4 no item 3.1.3.1.

Com a conclusão dos testes realizados obteve-se a expectativa de êxito para o desenvolvimento final do Sistema de Automação do Nível Digital – SAND, onde se tinha que realizar a implementação das outras etapas de trabalho propostas, quer sejam: o sistema de focalização da imagem da mira; a movimentação do nível digital; a construção da plataforma para o suporte do sistema de automação ao instrumento e a programação necessária para a movimentação dos motores e obtenção das leituras.

4.2 APRESENTAÇÃO DO SAND

Atendendo aos objetivos propostos no presente estudo, apresenta-se o Sistema de Automação de Nível Digital – SAND, conforme ilustra a Figura 58 em sua configuração final.

O SAND é formado por 6 componentes básicos, a saber:

a) Nível digital (Figura 59);
b) Dispositivo de Adaptação dos Motores de Passo – DAMP (Figuras 60 e 61)
c) *Driver* de Potência (Figura 62);
d) Placa Microcontrolada para Comando dos Motores de Passo – PMCMP (Figura 63);
e) Software de Automação do Movimento do Nível – SAMN, instalado no notebook;
f) *Notebook* / PC e fonte de energia: sendo que o *notebook* / PC com configuração mínima de HD 250GB, memória RAM 2GB, sistema operacional Windows XP e a fonte de energia para 24V (Figuras 64 e 65).

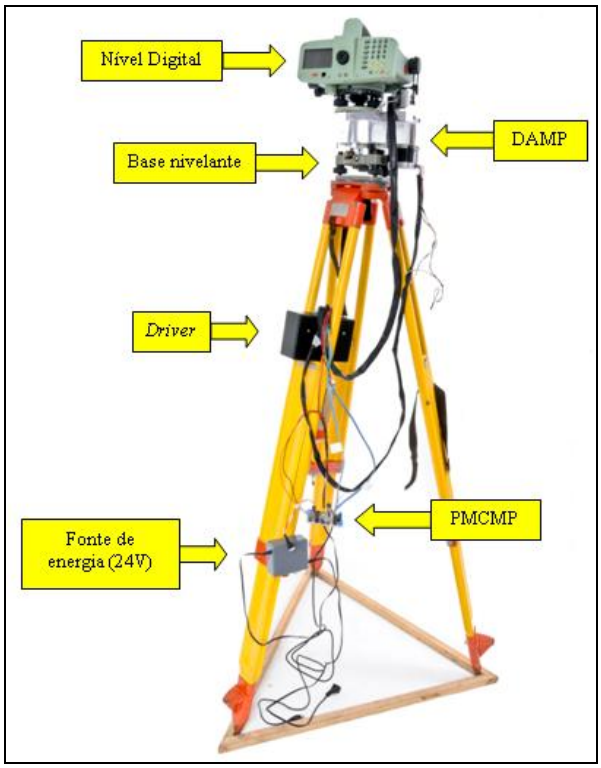


FIGURA 58 – Visão geral do SAND

a) Nível digital, neste caso o DNA03 (Leica)

FIGURA 59 – Nível digital utilizado

b) DAMP

FIGURA 60 – Detalhe do DAMP

- Base nivelante e adaptador

FIGURA 61 – Detalhe da base nivelante e adaptador

c) Driver de potência

FIGURA 62 – *Drive*r utilizado

d) PMCMP

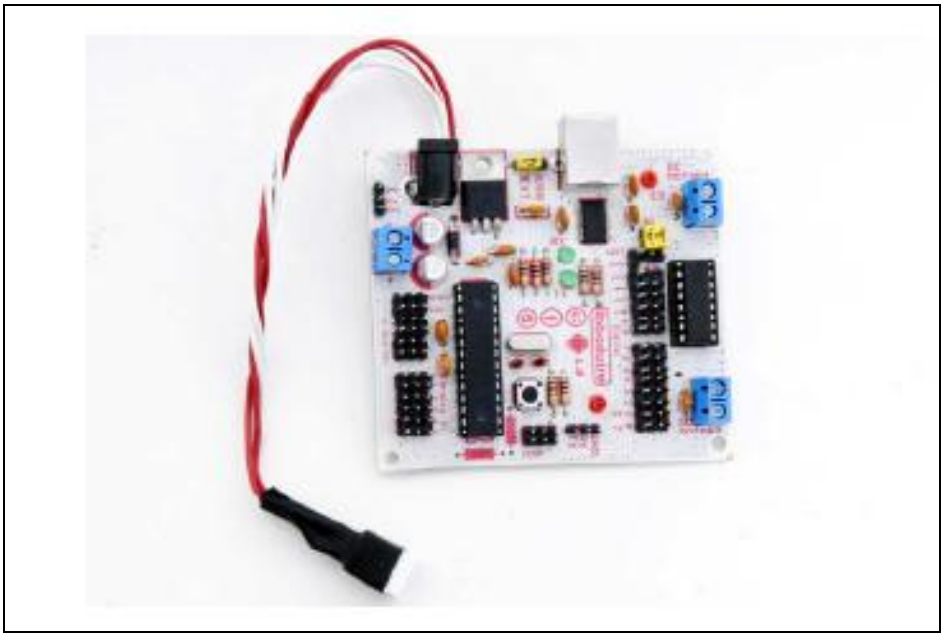


FIGURA 63 – Placa microcontroladora – PMCMP

e) Software de Automação do Movimento do Nível – SAMN

Figura 64 – Software SAMN – versão 1.0

f) Notebook / PC e fonte de energia (24V)

FIGURA 65 – *Notebook* utilizado

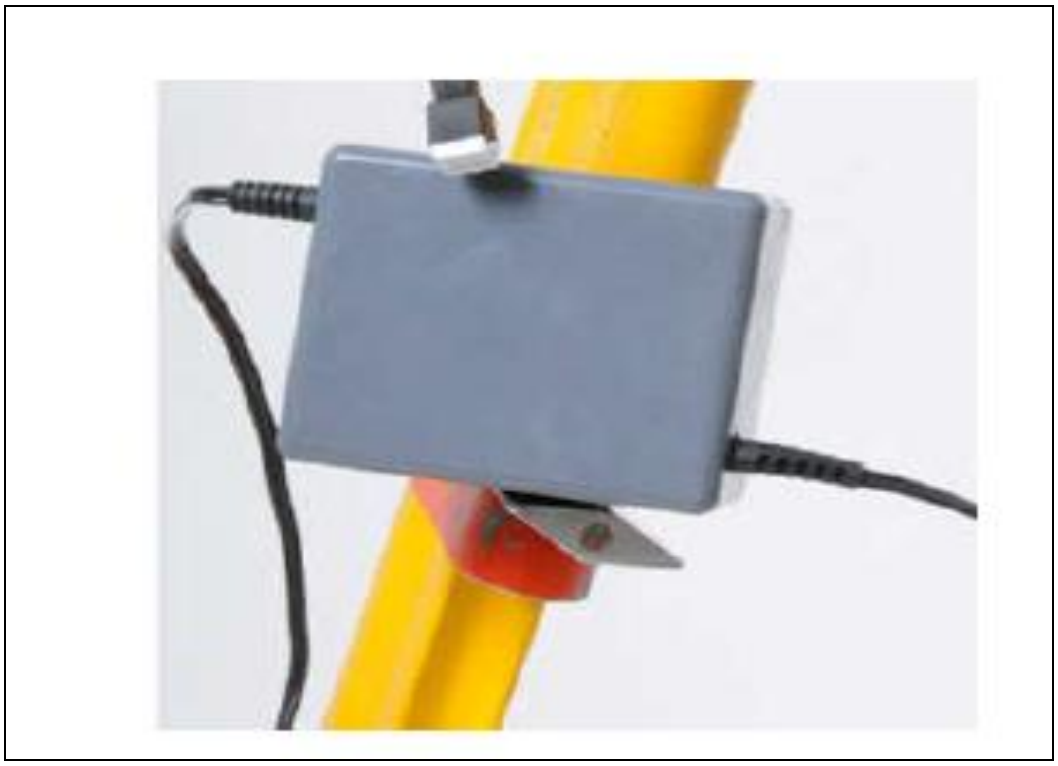


FIGURA 66 – Fonte de energia 24 V.

A Figura 67 ilustra o detalhe do motor empregado paro o ajuste do foco:

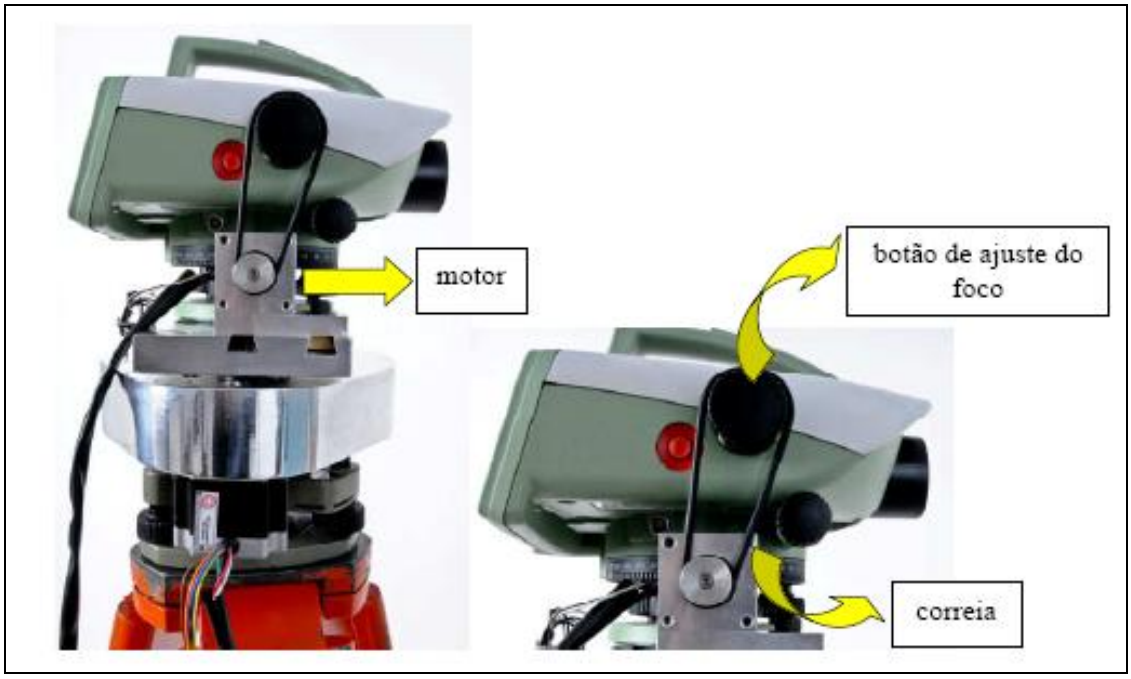


FIGURA 67 – Detalhe da fixação do motor para o ajuste do foco

4.3 TESTES REALIZADOS COM O SAND

Com a utilização prática do SAND, foram realizados diversos testes de funcionamento do sistema, verificando a sua funcionalidade e repetibilidade nas obtenções das leituras das miras confeccionadas, colocadas em dois pontos, chamados de ponto1 e ponto 2.

A Figura 68 mostra um segmento do arquivo gerado em um dos testes realizados com o SAND, considerando que este arquivo é extenso (várias linhas). Verifica-se que o sistema teve uma duração de 7h45min41s, sendo realizadas duas repetições de leituras com um minuto de intervalo entre as repetições.

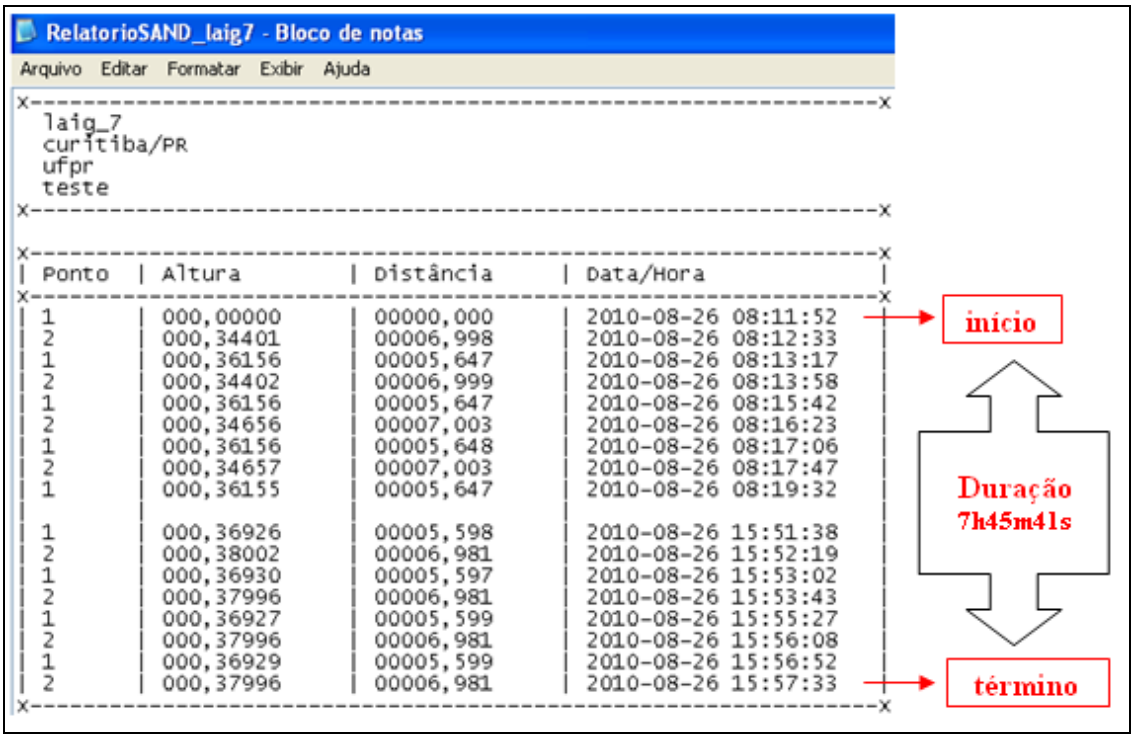


Figura 68 – Detalhe do arquivo gerado pelo SAND

Um segundo teste realizado verificou a diferença de leituras encontradas (desníveis entre as miras colocadas nos pontos 2 e 1), onde a mira do ponto 1 permaneceu fixa e a mira do ponto 2 fora deslocada de forma aleatória, simulando-se um possível deslocamento do

ponto 2, obtendo-se as diferenças mostradas na Figura 69. Nota-se neste teste que o SAND foi capaz de obter as leituras, ao longo de um período de 5h51min02s.

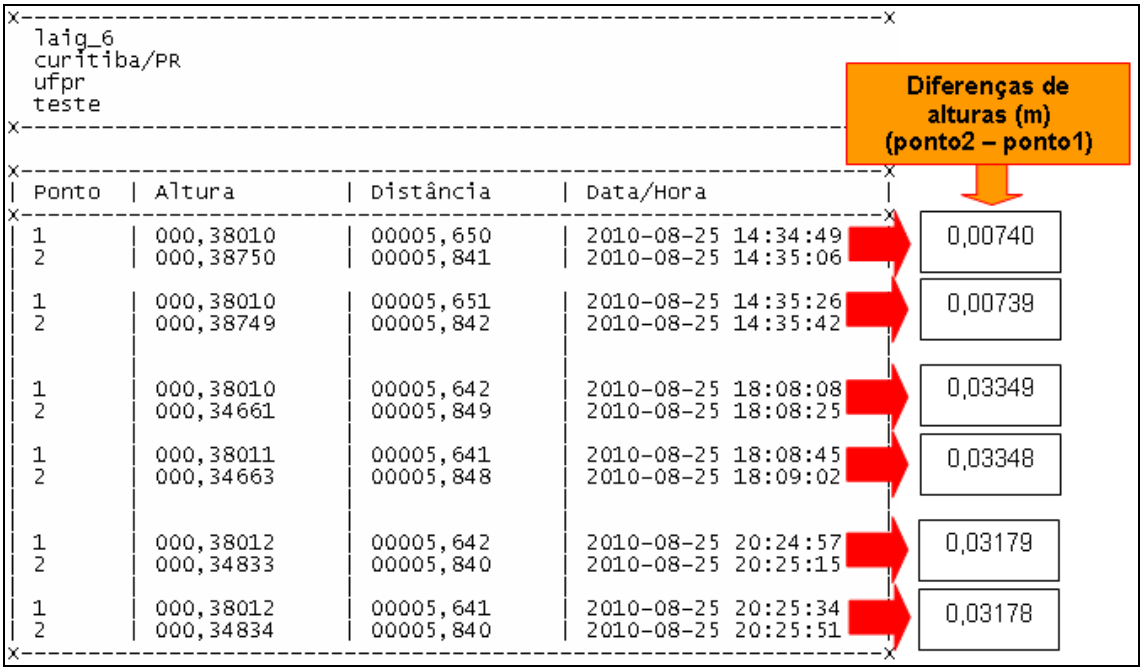


Figura 69 – Diferenças de alturas encontradas

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 CONCLUSÕES

Conclui-se que os objetivos traçados para o presente estudo foram alcançados de forma satisfatória, com o desenvolvimento final do Sistema de Automação do Nível Digital – SAND.

Quanto à definição do tamanho da mira foi constatado que o comprimento mínimo necessário da mira com código de barras é 70 cm para este trabalho, para uma distância de 30m, conforme mostrado no item 4.1 (Tabela 7). Entretanto, como a mira original apresenta a dimensão de 96 cm (aproximadamente), os alvos foram construídos com a mesma dimensão, mantendo-se o padrão da marca Leica.

Constatou-se, quanto ao movimento para ajuste do foco, que houve um giro de aproximadamente 50° no micrômetro. Este giro satisfaz os dois equipamentos testados, tanto para o DNA03 quanto o NA3000, para visada de até 30 m. Contudo, com a utilização do motor de passo AK39H/12-1.8 para o sistema de focagem, verificou-se que este sistema funcionou de maneira satisfatória, pois o movimento *passo a passo* consegue ajustar o foco da imagem do alvo de forma adequada.

Em função da determinação do comprimento mínimo da seção visível necessário para a realização das leituras da mira, foram confeccionados alvos com o código de barras, impressos em papel e em plástico tipo PVC.

Verificou-se que não houve variação significativa das leituras realizadas nos alvos confeccionados e plotados em PVC, onde a variação da leitura está na ordem do centésimo do milímetro, tanto nas leituras realizadas com a mira original (colocada como Ré) quanto nos dois alvos confeccionados (colocados como Vantes 1 e 2). Os resultados obtidos foram satisfatórios indicando que estes alvos podem ser utilizados de forma adequada, conforme mostrado no item 3.1.3.1 (Tabela 4).

Quanto aos motores de passo empregados neste sistema, percebeu-se que os mesmos se adequaram satisfatoriamente para as finalidades pré-determinadas, ou seja, um para o movimento horizontal/azimutal (modelo AK57HY/5-1.8) e outro para o sistema de focagem (modelo AK39H/12-1.8). Como foi mencionado anteriormente, ressalta-se que este último atendeu de forma eficaz, pois o sistema de focagem era uma das principais preocupações desta pesquisa. Com relação aos *drivers* empregados, notou-se que o funcionamento dos mesmos foi adequado para o funcionamento dos motores, e também pela possibilidade de realizar reduções do passo até 1:40. Neste trabalho, o motor para o movimento horizontal teve uma redução de 1:5 e o motor do sistema de focagem 1:2.

Para a programação necessária aos comandos dos movimentos dos motores, a linguagem Visual Basic 6 empregada para este fim, também atendeu satisfatoriamente aos objetivos propostos. O programa desenvolvido (SAMN) realizou os comandos para a movimentação dos motores, bem como a realização das leituras dos alvos (códigos de barra), armazenando os resultados obtidos em um banco de dados.

Quanto ao DAMP, sua concepção fora idealizada e desenvolvida de forma a atender a adaptação dos motores de passo e do nível digital. Sua construção deu-se graças aos serviços da empresa AVR Instrumental Ltda, que conta com técnicos em mecânica, equipamentos de usinagem, onde foi possível a sua confecção. Seu funcionamento atendeu as expectativas desejadas, mostrando-se prático e viável para o funcionamento do nível digital.

O sistema mostrou-se adequado para a obtenção das leituras das miras colocadas em pontos de interesse, realizando de forma contínua, a obtenção das leituras das miras, podendo ser de minuto em minuto, verificando possíveis deslocamentos que possam ocorrer nos pontos monitorados.

A automação de níveis digitais, desenvolvida neste trabalho, mostrou-se eficiente para realizar o monitoramento contínuo de recalque de estruturas. Nos testes apresentados com o SAND, o equipamento ficou coletando dados durante algumas horas com um intervalo entre séries de 1 minuto. Num trabalho de monitoramento com estas características seria impossível de ser desenvolvido utilizando um técnico operando o nível.

Assim, os resultados obtidos mostram que o SAND pode ser empregado no monitoramento de obras de engenharia, tais como: usinas hidrelétricas, pontes, edificações urbanas, entre outras, buscando-se o aumento da produtividade, coletando-se dados de forma contínua e durante longos períodos, subsidiando a tomada de decisão, quando detectados deslocamentos absolutos ou relativos entre os pontos de controle.

O custo de fabricação do sistema de automação de níveis digitais (SAND) é baixo considerando os benefícios que o sistema traz na execução do monitoramento de uma obra durante e após sua construção.

5.2 RECOMENDAÇÕES

Sugerem-se como recomendações para melhorias futuras desta pesquisa:

- **Dispositivo DAMP**: indica-se para o movimento horizontal que seja testado um sistema sem o uso da correia, fazendo que a base de ajuste do instrumento seja acoplada diretamente no eixo do motor;
- **Ajuste de focagem**: indica-se retirar a correia, adaptando-a ao motor, diretamente no botão do micrômetro do foco e para uma melhor visualização do sistema de focagem dos alvos, recomenda-se a utilização de uma câmera, tipo *webcam*, a ser acoplada na ocular do nível digital, obtendo-se a focalização desejada da imagem da mira na tela do PC ou notebook, para fins de gravação dos giros do motor de passo do foco;
- **Motores de passo**: devem-se estudar outros tipos de motores, com a inclusão de *encoders*, para um melhor posicionamento dos passos dos motores empregados, e também testar os movimentos com redução do passo dos motores através dos *driver* utilizados;
- **Placa microcontroladora PMCMP**: deve ser replanejada, estudando novos componentes eletrônicos, já que estes componentes estão constantemente evoluindo com o avanço da microeletrônica;

- **Programação efetuada no *software* SAMN**: esta deve acompanhar os mesmos avanços da microeletrônica, bem como da informática aplicada aos microprocessadores;
- **Fonte de alimentação:** adaptar um conjunto de duas baterias automotivas, de 12V cada, que ligadas em série podem alcançar os 24V necessários para o funcionamento dos motores e driver, para que se possa trabalhar em locais onde não há rede de energia disponível.

A continuidade desta pesquisa deve ser conduzida, aperfeiçoando os trabalhos de monitoramento de obras, onde o SAND possa:

- Avaliar possíveis deslocamentos de pontos de interesse através de busca automática da mira;
- Implantar ao programa a comparação dos resultados de diferentes épocas;
- Gerar gráficos para o acompanhamento das variações detectadas;
- Conjugar um sistema de "alarme" que avise quando houver variações significativas.

6 REFERÊNCIAS

ABNT**. NBR 13133 - Execução de levantamento topográfico**. Norma Técnica. 1994.

AKDMP5-1.7A. Driver motor de passo 2 fases. **Manual do usuário**. Disponível em: <www.akiyama.com.br>. Acesso em: Jul. 2010.

AKSAMITAUSKAS, V. C.; REKUS, D.; WASILEWSKI, A. **Impact of digital level Wild NA3003 error investigations on construction engineering measurements**. Disponível em: www.vgtu.lt/leidiniai/leidykla/MBM_2007/5pdf/Aksamitauskas.pdf . Acesso em: 28 ago 2010.

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

ARDUINO. Disponível em: <http://arduino.cc/en/Main/Software>. Acesso em: 10 jun. 2010a.

ARDUINO. Disponível em <http://arduino.cc/en/Reference/HomePage>. Acesso em: 10 jun. 2010b.

BEER, C.; STOYAN, H. **Motorised Digital Levelling Instrument** (2002). Disponível em: http://www.angerer-cps.com/pdf/digi_niv_uk.pdf. Acesso em: 14 Abr. 2009.

BRASIL. IBGE. **Resolução PR. N° 22 de 21 de Julho de 1983**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default_normas.shtm>. Acesso em: 30 mar. de 2007.

CHEN, Y. Q. **Analysis of deformation surveys – a generalized method**. Phd Thesis. Technical report n. 94. University of New Brunswick, April, 1983.

CINTRA. J. P. **Automação da topografia**: **do Campo ao Projeto**. 120p. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, 1993.

FAGGION, P. L. **Obtenção dos elementos de calibração e certificação de medidores eletrônicos de distância em campo e laboratório**. Tese (Doutorado) – Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas – UFPR. Curitiba, 2001.

FAGGION *et al***.** Monitoramento geodésico da usina de Salto Caxias. In: **Anais do III Simpósio sobre Instrumentação de Barragens**, p. 681-688. Comitê Brasileiro de Barragens – CBDB. São Paulo-SP, 2006.

FRANÇA, J. A. de. **Sistema de aquisição de dados baseados em microcontrolador.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1997.

FUENTES, R. C. **Automação industrial**. Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria, 2005. Disponível em: www.ufsm.br/fuentes/index_arquivos/CA06.pdf. Acesso em: 20 out 2009.

GROVER, M. P. *et al*. **Robótica:** tecnologia e programação. São Paulo. McGral-Hill, 1988.

GUEDES *et al*. Monitoramento do deslocamento horizontal do fecho do arco de coroamento da barragem Casca do Funil de Furnas S/A por meio de auscultação geodésica, prumo ótico e GPS. In: **Anais do III Simpósio sobre Instrumentação de Barragens**, p. 233-240. Comitê Brasileiro de Barragens – CBDB. São Paulo, 2006.

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

INGENSAND, H. **The evolution of digital leveling techniques - Limitations and new solutions**. In: Lilje, M (Eds) The Importance Of Heights. Fig, Gäule, Sweden: p. 59-68. 1990.

INGENSAND, H. **Check Of Digital Levels**. In: Fig XXII International Congress. Washington, D.C. USA, 2002.

JUNIOR, E. A. C. & AVEGLIANO, P. B. **Experiência microcontroladores PIC**. Disponível em: http://www.pcs.usp.br/~jkinoshi/2005/PCS2031_projeto01_Introducao_PIC_v4.doc . Acesso em: 20 junho 2010.

KHALIL, R. **Enlargement The Sighting Distance Of Sokkia Digital Level SDL30**. In: Fig Working Week. Hong Kong Sar. China, 2007.

KUHL, M. G. **Acesso remoto de um braço eletrônico via Web Service**. Monografia (Especialização em Informática) - Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná – CEFET, Pato Branco, 2005.

KLOC, A. E.; KOSCIANSKI, A.; PILATTI, L. A. **Robótica: uma ferramenta pedagógica no campo da computação**. I Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciência e Tecnologia – PPGECT, 2009.

KRELLING, P. C. L. **Concepção de um inclinômetro foto-mecânico para controle geodésico de estruturas**. 191 p. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

LABORATÓRIO DE AFERIÇÃO E INTRUMENTAÇÃO GEODÉSICA. UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - UFPR, Curitiba, 2010.

LAROCCA, A.P. C. **O Uso do GPS como instrumento de controle de deslocamentos dinâmicos de obras civis:** aplicação na área de transportes. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

LEICA. **GSI ONLINE for Leica TPS and DNA.** (2002). Disponível em: www.leica-geosystems.com/corporate/en/downloads/lgs_page_catalog.htm?cid=6561. Acesso em: 28 Mar 2007.

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

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

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.ufrj.br/grad/01_1/motor/> Acesso em: 13 Fev. 2008.

LIMA, C. R. E. **Um controlador de múltiplos motores de passo por nível de corrente**. Dissertação (Mestrado) - Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná – CEFET. Curso de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Curitiba, 1994.

LOBOSCO, O. S., COSTA, J. L. P. **Seleção e aplicação de motores elétricos**. Série Brasileira de Tecnologia. Ed. McGraw-Hill/Siemens, São Paulo, 1988.

MARTINS, N. A. **Sistemas microcontrolados:** uma Abordagem com o Microcontrolador PIC 16F84. Novatec Editora. <Disponível em: http://www.martinsfontespaulista.com.br/site/PDFs/Capitulo1/203289.pdf>. Acesso em: jul. 2010.

MORAES, C. C.; CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de automação industrial**. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

NADAL, M. A. D**. Controle e operação de estações totais robotizadas voltado à auscultação geodésica**. 132 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná –UFPR, Curitiba, 2008.

NETTO *et al*. Verificação da estabilidade dos pilares de observação para monitoramento das estruturas da barragem de Itaipu por meio da Tecnologia GPS. In: **Anais do III Simpósio sobre Instrumentação de Barragens**, p. 297-308. Comitê Brasileiro de Barragens – CBDB. São Paulo, 2006.

NOAA. **Standarts & Requerements For Leveling**. Disponível em: <www.ngs.noaa.gov/heightmod/leveling/requerements.html>. Acesso em: mai. 2010.

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

PIRES, J. N. **Robótica:** das máquinas gregas à moderna robótica industrial. Departamento de engenharia mecânica da Universidade de Coimbra (2002). Disponível em: <http://robotics.dem.uc.pt/norberto/nova/pdfs/gregosxxi.pdf>. Acesso em. jul. 2010.

RADCLIFFE, D. **Feature:** How digital levels work. Professional Surveyor, Volume 19, Number 5, June 1999.

REKUS, D.; AKSAMITAUSKAS, C.; GINIOTIS, V. **Application of digital automatic levels and impact of their accuracy on construction measurements.** In: The 25th International Symposium on Automation and Robotics in Construction - ISARC-2008, June 2008. Disponível em: www.vgtu.lt/leidiniai/leidykla/ISARC_2008/7/713.htm . Acesso em: 28 ago 2010.

ROBOTICS INDUSTRIES ASSOCIATION. Disponível em: <http://www.robotics.org/company-profile-detail.cfm/company/319>. Acesso em: jul. 2010.

ROCHA, R. **Sistema de automação remota para controle de braço mecânico**. Monografia (TCC) - Faculdade Mater Dei, Pato Branco, 2004.

RUSSO NETO, L. **Interpretação de deformação e recalque na fase de montagem de estrutura de concreto com fundações em estaca cravada**. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

SALANT, M. **Introdução à robótica.** São Paulo, McGraw-Hill, 1991.

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

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

SOUZA, F. de. **Robótica:** ciência e tecnologia**.** Disponível em: http://www.demnet.ubi.pt/~felippe/texts/robotica_cap2.pdf. Acesso em Jul. 2010.

TAKALO *et al*. **On The Systematic Behaviour Of The Digital Leveling System Zeiss DiNi 12.** In: Fig XXII International Congress. Washington, D.C. USA, 2002.

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

TAKALO, M.; ROUHIAINEN, P. **Longer than 100m sightings with the Zeiss DiNi12 Digital Level.** FIG Working Week 2004, Athens, Greece, May 22-27, 2004b.

TAKALO, M.; ROUHIAINEN, P. **Development of a system calibration comparator for Digital Levels in Finland.** Nordic Journal of Surveying and Real Estate Research, 2004c.

TOCCI, R., IDMER N. **Sistemas Digitais Princípios e Aplicações**. PHB, 10ª edição, São Paulo, 2007.

ULLRICH, R. A. **Robótica**: uma Introdução – o porquê dos robôs e seu papel no trabalho. Rio de Janeiro: Campus, 1987.

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.

VEIGA, L. A. K. Homogeinização de dados provenientes de diferentes níveis digitais. In: **Anais do Simpósio Brasileiro de Geomática**. São Paulo, 2002.

VEIGA *et al*. O Uso de poligonais de precisão para o monitoramento de pontos em galerias de drenagem: A experiência na usina hidrelétrica de Salto Caxias. In: **Anais do III Simpósio sobre Instrumentação de Barragens,** p. 287-295. Comitê Brasileiro de Barragens – CBDB. São Paulo, 2006.

WINSTON, P. Rethinking artificial intelligence. Program Announcement, Institute of Technology, Massachussets, 1997.

WOSCHITZ, H., BRUNNER, F. K. **System calibration of Digital Levels – Experimental results of systematic effects.** INGEO2002, 2nd Conference of Engineering Surveying, Bratislava, November 2002.

WOSCHITZ, H., BRUNNER, F. K., HEISTER, H. **Scale Determination of Digital Leveling Systems using a Vertical Comparator.** In : Fig International Congress. Washington, D.C. USA. 2002.