



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA

DESENVOLVIMENTO DE UM POSICIONADOR
AUTOMATIZADO COM APLICAÇÃO EM MEDIDAS
ACÚSTICAS

AUTOR: DOUGLAS ICERI LASMAR

Belo Horizonte, 28 de fevereiro de 2012

Douglas Iceri Lasmar

**DESENVOLVIMENTO DE UM POSICIONADOR
AUTOMATIZADO COM APLICAÇÃO EM MEDIDAS
ACÚSTICAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção de título de Mestre em Engenharia Mecânica

Área de concentração: Projeto Mecânico/Controle e Automação

Orientadora: Profa. Gilva Altair Rossi de Jesus

(Universidade Federal de Minas Gerais)

Co-Orientador: Prof. Lazaro Valentim Donadon

(Universidade Federal de Minas Gerais)

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2012



Universidade Federal de Minas Gerais

Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica

Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha – 31.270-901 – Belo Horizonte – MG

Tel.: +55 31 3499-5145 – Fax: +55 31 3443-3783

www.demec.ufmg.br – E-mail cpmec@demec.ufmg.br

SISTEMA AUTOMATIZADO DE AQUISIÇÃO DE SINAIS ACÚSTICOS EM SUPERFÍCIES

DOUGLAS ICERI LASMAR

Dissertação defendida e aprovada em 28, de fevereiro de 2012, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de **“Mestre em Engenharia Mecânica”**, na área de concentração de **“Projeto Mecânico”**.

Profa. Dra. Gilva Altair Rossi de Jesus– UFMG – Orientadora

Prof. Dr. Lazaro Valentim Donadon – UFMG – Examinador

Prof. Dr. Antonio Augusto Torres Maia – UFMG – Examinador

Prof. Dr. Eduardo Bauzer de Medeiros – UFMG – Examinador

AGRADECIMENTOS

A Deus que além do dom da vida nos acompanhado e conforta em todos os momentos, especialmente os de maior dificuldades.

A Douglas e Lourdes Lasmar, que sempre apoiaram durante toda trajetória estudantil e profissional.

A Paula Nunes pelo carinho e compreensão especialmente nos momentos de ausência e introspecção.

A Thalita, Elza, Florentina, Dalila, Donizete, Wilson, Valdira, Zelinda, Renan, Vanessa, Igor e Julina, que de maneira sincera sempre torceram para o sucesso deste trabalho.

A meus Professores Gilva Altair, Lazaro Donadon e Antônio Maia pela ajuda, sempre com boa vontade, paciência e comprometimento neste e em diversos outros trabalhos acadêmicos.

Aos amigos da Georadar, em especial Rodrigo Viana, Fernando Tetzl, Ricardo Barcelos, Carlos Salgado e Frederico Ramos, que apoiaram e auxiliaram durante a execução deste trabalho.

Ao Doutorando Anderson de Oliveira Leite e ao Professor Juan Carlos Rubio, pela assistência durante os ensaios em laboratório.

Por fim a Capes e CNPQ que apoiaram o desenvolvimento desta atividade bem como de diversas outras executadas no Departamento de Pós-Graduação de Engenharia Mecânica da UFMG.

“Bem aventurado o homem que acha sabedoria, e o homem que adquire conhecimento, porque é melhor sua mercadoria do que artigos de prata, e maior o seu lucro que o ouro mais fino.”

Salomão filho de Davi in Bíblia – Novo Testamento

“Reconheça o que está ao alcance de seus olhos, e o que está oculto tornar-se-á claro para você.”

Jesus Cristo in Bíblia – Novo Testamento

SUMÁRIO:

LISTA DE FIGURAS:	VIII
LISTA DE GRÁFICOS:	XI
LISTA DE TABELAS E QUADROS:	XII
RESUMO	XIII
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS GERAIS	1
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.3 JUSTIFICATIVA E CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO	3
1.4 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	3
1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	4
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 FUNCIONAMENTO DE SISTEMAS AUTOMÁTICOS	6
2.2 SISTEMAS MECÂNICOS AUTOMATIZADOS	8
2.2.1 SISTEMAS MECÂNICOS EM MALHA ABERTA	9
2.2.2 SISTEMAS MECÂNICOS EM MALHA FECHADA	11
2.3 DISPOSITIVOS MECÂNICOS DE TRANSMISSÃO	12
2.4 ATUADORES	14
2.4.1 MOTORES ELÉTRICOS	16
2.4.1.1 MOTOR DE CORRENTE CONTINUA	16
2.4.1.2 MOTOR DE PASSO	17
2.5 SENSORES	19
2.5.1 SENSORES DE PROXIMIDADE	19
2.5.1.1 SENSORES ÓPTICOS	20

2.5.1.2	SENSOR ULTRA-SÔNICO	21
2.5.1.3	SENSOR MAGNÉTICO	22
2.5.1.4	CHAVE FIM DE CURSO	23
2.5.2	SENSORES ACÚSTICOS	24
2.6	MÉTODO DE CONVERSÃO ANALÓGICA DIGITAL	28
2.6.1	CONVERSOR DE RAMPA DIGITAL	29
2.6.2	CONVERSOR DE APROXIMAÇÃO SUCESSIVA	30
2.6.3	CONVERSOR FLASH OU PARALELO	31
2.7	ONDAS ACÚSTICAS	32
2.8	TÉCNICAS DE MEDIÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS	33
2.8.1	TAXA DE AMOSTRAGEM	33
2.8.2	ANÁLISE EM FREQUÊNCIA	35
2.9	VALIDAÇÃO METROLÓGICA EXPERIMENTAL	38
2.9.1	ANÁLISE DE INCERTEZA	39
2.9.2	ANÁLISE DE REGRESSÃO	41
2.9.3	NÚMERO DE MEDIÇÕES REQUERIDAS	42
2.10	ANÁLISE DE TRABALHOS PUBLICADOS E APLICAÇÕES PRÁTICAS.	43
3	METODOLOGIA	47
3.1	MONTAGEM DO EIXO HORIZONTAL X	50
3.2	MONTAGEM DO EIXO VERTICAL Y	52
3.3	ACOPLAMENTO ENTRE EIXO X E Y	53
3.4	ESCOLHA DO ATUADOR E SENSOR DE CURSO	57
3.5	HARDWARE DE CONTROLE DE POSICIONAMENTO	59
3.6	SOFTWARE DE CONTROLE DE POSICIONAMENTO	66
3.7	COLETA DE DADOS PARA VALIDAÇÃO DE POSICIONAMENTO	69
3.8	ESCOLHA DO SISTEMA DE CONVERSÃO ANALÓGICO DIGITAL	71

3.9	ESCOLHA DO SENSOR ACÚSTICO	73
3.10	SOFTWARE DE COLETA DE DADOS	75
3.11	COLETA DE DADOS PARA VALIDAÇÃO DE MEDIDA DE CAMPO ACÚSTICO	77
3.12	CONFIGURAÇÃO DE ACESSO REMOTO	78
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	82
4.1	VALIDAÇÃO METROLÓGICA EXPERIMENTAL	82
4.1	VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL DO PROTÓTIPO DE MEDIÇÃO ACÚSTICA	87
5	CONCLUSÃO	95
	ABSTRACT	96
	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	97
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98

LISTA DE FIGURAS:

FIGURA 2.1 - CORPO HUMANO E SISTEMA AUTOMATIZADO	7
FIGURA 2.2 - SISTEMA MECÂNICO PASSIVO – ABERTURA DE PORTA ATRAVÉS DO AUMENTO DE MASSA DE ÁGUA	10
FIGURA 2.3 - SISTEMA PASSIVO	10
FIGURA 2.4 – PRIMEIRO SISTEMA MECÂNICO ATIVO SIGNIFICATIVO	11
FIGURA 2.5 - SISTEMA MECÂNICO ATIVO GENÉRICO	12
FIGURA 2.6 - FUSO DE ESFERA	14
FIGURA 2.7 - FUSO DE PERFIL TRAPEZOIDAL	14
FIGURA 2.8 - MOTOR DE CORRENTE CONTINUA	17
FIGURA 2.9 - MOTOR DE PASSO	17
FIGURA 2.10 - ACIONAMENTO DE MOVIMENTO DO MOTOR	18
FIGURA 2.11 - CICLO DE MEIO PASSO	18
FIGURA 2.12 - SENSOR ÓPTICO DE PROXIMIDADE	21
FIGURA 2.13 – ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DE UM SENSOR ULTRA-SÔNICO	21
FIGURA 2.14 - SENSOR CAPACITIVO, FUNCIONAMENTO E APLICAÇÃO	22
FIGURA 2.15 - SENSOR INDUTIVO, FUNCIONAMENTO E APLICAÇÃO	23
FIGURA 2.16 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE CHAVE FIM DE CURSO	24
FIGURA 2.17 - MICROFONE DINÂMICO	25
FIGURA 2.18 - MICROFONE CAPACITIVO	25
FIGURA 2.19 MICROFONE CAPACITIVO DE POLARIZAÇÃO DIRETA	26
FIGURA 2.20 - MICROFONE RESISTIVO	26
FIGURA 2.21 MICROFONE PIEZELÉTRICO	27
FIGURA 2.22 MICROFONE DE CAMPO LIVRE	27
FIGURA 2.23 - MICROFONE DE CAMPO DE PRESSÃO	28
FIGURA 2.24 - CONVERSOR DE RAMPA DIGITAL	29
FIGURA 2.25 - ADC DE APROXIMAÇÃO SUCESSIVA	30
FIGURA 2.26 - ADC PARALELO	31
FIGURA 2.27 - COMPONENTES DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO GENÉRICO	39
FIGURA 2.28 ARRANJO DE MICROFONES DE BRANDÃO E LENZI	43
FIGURA 2.29 APARATO ELETRÔNICO EM SOUZA ET AL 2007	44

FIGURA 2.30 ARRANJO DE MULTIPLOS SENSORES EM WANT ET AL 1995	45
FIGURA 3.1 - FLUXO DE SINAIS & ESQUEMÁTICO DE SISTEMA	49
FIGURA 3.2 - GUIA LINEAR CILÍNDRICA	50
FIGURA 3.3 - GUIA LINEAR EM W CONTINUAMENTE APOIADA	50
FIGURA 3.4 - DESLIZADOR PARA GUIA W	51
FIGURA 3.5 - CARRO DE POSICIONAMENTO	51
FIGURA 3.6 - EIXO DE DESLOCAMENTO HORIZONTAL	52
FIGURA 3.7 - PARTES DO EIXO VERTICAL	53
FIGURA 3.8 - EIXO DE DESLOCAMENTO VERTICAL	53
FIGURA 3.9 - PEÇAS DE ACOPLAMENTO ENTRE EIXOS	54
FIGURA 3.10 - ACOPLAMENTO MOTOR/EIXO	55
FIGURA 3.11 - MONTAGEM DOS EIXOS HORIZONTAL E VERTICAL EM 3 VISTAS	56
FIGURA 3.12 – ACOPLAMENTO DOS EIXOS VERTICAL E HORIZONTAL	56
FIGURA 3.13 - MOTOR DE PASSO SYNCRO	57
FIGURA 3.14 - MOTOR DE PASSO ACOPLADO AO MÓDULO DE DESLOCAMENTO VERTICAL	58
FIGURA 3.15 - CONEXÃO DAS CHAVES FIM DE CURSO	59
FIGURA 3.16 - CONEXÃO DAS CHAVES FIM DE CURSO	59
FIGURA 3.17 - PIC18F452	61
FIGURA 3.18 - DISPLAY LCD PARA FUNCIONALIDADE IHM	62
FIGURA 3.19 - INTERFACE RS232	62
FIGURA 3.20 – MÓDULO DE POTÊNCIA DOS MOTORES DE PASSO	63
FIGURA 3.21 - HARDWARE DE CONTROLE DE POSICIONAMENTO	64
FIGURA 3.22 - RELAÇÃO HARDWARE/APLICAÇÃO	65
FIGURA 3.23 - MÓDULOS ORGANIZACIONAIS E FLUXO DE SINAIS	66
FIGURA 3.24 - FLUXO DE TRABALHO DO SOFTWARE DE POSICIONAMENTO	68
FIGURA 3.25 - MÁQUINA DE MEDIR COORDENADAS	69
FIGURA 3.26 - VALIDAÇÃO METROLÓGICA DO EIXO HORIZONTAL	70
FIGURA 3.27 - VALIDAÇÃO METROLÓGICA DO EIXO VERTICAL	70
FIGURA 3.28 - SISTEMA DE VALIDAÇÃO METROLÓGICA	71
FIGURA 3.29 - CONEXÃO DAQ6211 / LAPTOP	73
FIGURA 3.30 - ENTRADA ANALÓGICA DIFERENCIAL	73
FIGURA 3.31 - SENSOR ACÚSTICO	74

FIGURA 3.32 – CONDICIONADOR ICP	74
FIGURA 3.33 - FLUXO DE TRABALHO DO SOFTWARE DE MEDIÇÃO ACÚSTICA	76
FIGURA 3.34 - PROTÓTIPO DE MEDIÇÃO ACÚSTICA EM ENSAIO DE VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL	77
FIGURA 3.35 - CONEXÃO DE ACESSO 3G A INTERNET	78
FIGURA 3.36 - CONFIGURAÇÃO DE CONEXÃO LOCAL	79
FIGURA 3.37 - JM2PC SERVER SOFTWARE	80
FIGURA 3.38 - ACESSO REMOTO AO SISTEMA SUPERVISÓRIO	81
FIGURA 4.1 - SISTEMA SUPERVISÓRIO	87
FIGURA 4.2 - ENSAIO 1: PARÂMETROS DE AQUISIÇÃO E GEOMETRIA FÍSICA DE AQUISIÇÃO	89
FIGURA 4.3 - ENSAIO 1: MEDIDA NO TEMPO	90
FIGURA 4.4 - ENSAIO 1: FREQUÊNCIAS DE 0 A 1500HZ	91
FIGURA 4.5 - ENSAIO 1: FREQUÊNCIA DE 1500HZ A 3000HZ	92
FIGURA 4.6 - ENSAIO 2: MEDIDA NO TEMPO	93
FIGURA 4.7 - ENSAIO 2: FREQUÊNCIAS DE 0 A 1500HZ	93
FIGURA 4.8 - ENSAIO 2: FREQUÊNCIAS DE 1500HZ A 3000HZ	94

LISTA DE GRÁFICOS:

GRÁFICO 2.1 - INFLUENCIA DA TAXA DE AMOSTRAGEM	34
GRÁFICO 2.2 - ANÁLISE DE REGRESSÃO EM ERRO DE POSICIONAMENTO	42
GRÁFICO 4.1 - MOVIMENTAÇÃO HORIZONTAL COM INCREMENTO DE 10MM	83
GRÁFICO 4.2 - MOVIMENTAÇÃO HORIZONTAL COM INCREMENTO DE 50MM	83
GRÁFICO 4.3 - ERRO DE POSICIONAMENTO HORIZONTAL	84
GRÁFICO 4.4 - AVALIAÇÃO DO ERRO HORIZONTAL APÓS CORREÇÃO	85
GRÁFICO 4.5 - ERRO DE POSICIONAMENTO VERTICAL	86
GRÁFICO 4.6 - AVALIAÇÃO DO ERRO VERTICAL APÓS EQUAÇÃO DE CORREÇÃO	86

LISTA DE TABELAS E QUADROS:

TABELA 2.1 Fator de Abrangência para Diferentes Níveis de Confiança	43
QUADRO 2.1 Comparação entre corpo humano, sistema automático, e sistema automático de aquisição acústica	8
QUADRO 2.2 Vantagem e Desvantagem dos Modelos de Atuadores	15
QUADRO 2.3 Modos de Operação de Sensores Ópticos de Proximidade	20
QUADRO 2.4 Fontes de Erro Durante Validação Experimental	40
QUADRO 3.1 Conversores AD	72

RESUMO

A coleta manual de dados é um processo de repetibilidade limitada e, usualmente, depende da disponibilidade do pesquisador que realiza o experimento. A necessidade de automação de sistemas de coletas de dados manuais aumenta conforme o número de dados a serem adquiridos aumentam ou quando o executante do experimento atinge seu limite, não possuindo a disponibilidade necessária para coletar todos os dados. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema automatizado de coleta de sinais para aquisição de medidas acústicas em malha bidimensional utilizados na determinação de características de ambientes e materiais. Para execução do projeto, o trabalho foi dividido em três partes principais. A primeira parte foi a montagem do módulo de deslocamento mecânico (onde o sensor acústico foi fixado) utilizando fusos trapezoidais, motores de passo e guias lineares. Na segunda etapa do projeto, foi desenvolvida a interface eletrônica de controle de movimento e de coleta de dados, compreendendo conversores, amplificadores e interface de comunicação com o sistema supervisor. Na terceira e última etapa, foi desenvolvido o software de controle para o dispositivo de aquisição e a interface de processamento. O software Matlab foi utilizado para implementação matemática necessária e para criação da interface gráfica onde as opções de coleta de dados são apresentadas. Durante estas três etapas todos os passos de montagem são detalhados, o modelo de posicionamento é metrologicamente validado, inclusive apresentado as equações de correção de posicionamento, e o protótipo final experimentalmente testado. Por fim os resultados da capacidade do sistema de coleta automático de sinais acústico são apresentados e comparados.

Palavras Chave: Automação da medição, controlador eletrônico, aquisição acústica

1 INTRODUÇÃO

A busca pela otimização de sistemas e processos, industriais ou acadêmicos, passa por mudanças estruturais, produtivas e organizacionais, tendo como grande incentivador inovações tecnológicas que permitem estender a capacidade de controle e aptidões dos sentidos humanos. Neste sentido a automação de processos quando aplicada corretamente é um primeiro passo que possibilita melhoria de produtividade, controle dimensional, repetibilidade e reprodutibilidade, resguardando o ser humano de atividades de risco que possam prejudicá-lo, bem como tornando o produto/processo mais competitivo.

Dentre os diversos sistemas e processos, um tópico recorrente, com aplicações diversas é o estudo de vibrações, que como cita RAO (2009), tem origem remota, iniciando-se com os primeiros instrumentos musicais e com continuidade de sua trajetória até a atualidade.

No campo das vibrações, o estudo de sinais de pressão sonora são importantes pois permitem desde a identificação de impedância acústica de superfícies (Brandão e Lenzi, 2010), determinação de modos normais, tempo de reverberação e isolamento acústico de estruturas e materiais (Kruszielk, 2008), distribuição direcional da intensidade sonora (Arruda, 2005), entre outros, até avaliação de níveis de conforto e capacidade produtiva dos seres humanos (Aviz, 2006).

Neste trabalho, um processo de coleta de dados de medidas de pressão sonora foi desenvolvido, automatizado e analisado, apresentando alternativas de acesso remoto, visualização de resposta em tempo real (tanto no domínio do tempo quanto da frequência) e armazenando dados para posterior análise computadorizada.

1.1 Objetivos Gerais

O objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema automatizado para aquisição de sinais acústicos em superfícies. Este sistema é composto por uma estrutura mecânica, que possui dois eixos, vertical e horizontal, e cuja função é posicionar o sensor de sinais acústicos em pontos pré-definidos de uma malha bidimensional. Este

posicionamento é automatizado através do módulo de automação e controle. Os sinais acústicos coletados pelo sensor são registrados e processados no módulo de aquisição e supervisão.

Este trabalho objetiva ainda aplicar técnicas de automação e posicionamento, criando um sistema de alta eficiência e produtividade para aquisição de dados de pressão sonora em malhas bidimensional.

Ao final do desenvolvimento do trabalho como subproduto do desenvolvimento do protótipo, informações complementares (diagramas eletrônicos, algoritmos, entre outros) e o protótipo em si, poderão ser utilizados para fins acadêmicos de pesquisa e educacionais, como aulas práticas de sistemas embutidos, teoria de controle, eletrônica, vibrações mecânicas e acústica.

1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do projeto são referentes a construção das partes de um protótipo final, com documentação suficiente para replica e que sirvam como base para outros sistemas automáticos de custo baixo/moderado, com aplicações industriais, mas especialmente voltada para automação de pesquisas acadêmicas. As principais etapas deste trabalho são descritas brevemente a seguir:

- Criar um protótipo mecânico de um sistema posicionador bidimensional, onde, no eixo vertical, é fixado um sensor para medições acústicas.
- Projetar e implementar um sistema de controle de posicionamento dos eixos que compõem o sistema posicionador bidimensional. Este módulo de controle irá comandar o posicionamento do sensor baseando-se em uma malha de posicionamento pré-definida.
- Validar metrologicamente o módulo posicionador bidimensional automatizado.
- Desenvolver um sistema supervisor parametrizável, com interface gráfica para apresentação de dados ao usuário e tecnologias adicionais como acesso remoto. É através deste sistema que será definida a malha de posicionamento, ou seja, em quais pontos o sistema que se deve posicionar para coleta dos sinais acústicos. Os dados coletados são tratados e apresentados graficamente e através de registro

digital. O sistema supervisorio comandará o sistema de controle de posição que por sua vez comandará a estrutura mecânica de posicionamento do sensor.

- Validar experimentalmente o protótipo de aquisição acústica.

1.3 Justificativa e contribuição do trabalho

Como observado por Aviz (2006), uma das grandes dificuldades do homem no campo de vibrações está centrada na questão do ruído e conseqüentemente na transmissibilidade sonora (que tornam ambientes mais ou menos susceptíveis a aplicações acústicas). Portanto, tem sido necessário buscar novas metodologias que permitam maior eficiência em estudos de análise de materiais, como os realizados por Donadon et al. (2008).

Embora existam sistemas de varredura laser para medições de vibrações em superfície, não é usual encontrar sistemas automáticos para medições acústicas como proposto neste trabalho.

A aplicação de técnicas de automação em sistemas de medição acústica, como ocorre no trabalho de Donadon *et al.* (2008) ou Garcia *et al.* (2008), permite menor tempo de coleta de dados, maior repetibilidade, reprodutibilidade e controle do processo, além de disponibilizar o pesquisador para realização de outras atividades. Acrescenta-se, que a aplicação de técnicas adicionais como acesso remoto, faz com que o pesquisador tenha ainda maior mobilidade, podendo configurar o sistema e acessar os dados de qualquer ponto.

Por fim, a justificativa final repousa no desenvolvimento de um protótipo nacional de coleta e análise, com passos de sua fabricação documentados, emprego em processos automáticos adicionais de posicionamento e que possui aplicabilidade acadêmica de pesquisa e ensino.

1.4 Procedimento Metodológico

A pesquisa iniciou-se com ênfase em uma revisão bibliográfica, capaz de fornecer embasamento referente aos componentes construtivos de um sistema de controle de processo e aquisição de dados, onde são apresentadas sistemas de controle de malha

aberta e fechada, mecanismos de transmissão de movimento, opções de atuadores e sensores, métodos de conversão analógico digital, características teóricas de ondas acústicas, técnicas de medição e tratamento de dados e características do processo de validação experimental.

Posteriormente foram analisados trabalhos com aplicação direcionada a área de automação, como Lasmar *et al.* (2010a) e Lasmar *et al.* (2010b), e vibrações acústicas, como Aviz (2006) e Garcia *et al.* (2008), de maneira a possibilitar maior sinergia entre as áreas e, construção do protótipo com características de automação voltadas para aquisição em superfície de medidas de pressão sonora.

Como desenvolvimento final, o driver de amplificação e controle do módulo de posicionamento é projetado e fabricado, o software de controle de posição é desenvolvido e, a precisão do módulo de posicionamento como um todo é validada metrologicamente, através de ensaios em laboratório, fornecendo inclusive a curva de correção do sistema.

O equivalente é realizado para o módulo de aquisição de dados, onde o sensor acústico é instalado (no eixo vertical do módulo de posicionamento), o conversor analógico digital é instalado para conversão de sinais do sensor para o servidor de dados e, o software do sistema supervisor é desenvolvido baseando-se nos princípios de interface gráfica amigável e parametrizável, capacidade de apresentação e processamento de dados em tempo real e, gravação e exportação de dados.

Por fim o protótipo de um Posicionador Automatizado com aplicação em medidas acústicas é submetido a ensaios de prova e contra prova, adquirindo dados de fontes acústicas com frequências e posições definidas.

1.5 Organização do trabalho

O capítulo de introdução apresenta uma discussão formal do tema da pesquisa, identificando a estruturação do trabalho, seus objetivos, justificativas e contribuições. O tópico Revisão Bibliográfica apresenta uma revisão teórica de sistemas automáticos, tipos de sensores e atuadores, controladores, técnicas de condicionamento e processamento de sinais, técnicas de conversão e de transmissão de movimento. No tópico Metodologia são apresentadas as características mecânicas construtivas do sistema de posicionamento bidimensional, diagramas eletrônicos de projeto do circuito de controle, amplificação e

coleta de dados, fluxogramas e descritivo organizacional do sistema supervisório que realiza a interface homem máquina. Por fim é realizada a validação metrológica do sistema de posicionamento, bem como a validação experimental do sistema de coleta de dados.

Ao final do trabalho, os resultados da validação metrológica e experimental são apresentados e analisados. Conclusões relativas ao desenvolvimento do protótipo e demais objetivos são apresentados, bem como sugestões para trabalhos futuros que utilizem metodologia semelhante.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção serão apresentados estudos sobre automação de sistemas e seus principais componentes, destacando informações referentes ao conjunto formador do sistema de aquisição, bem como sobre os elementos que compõem o sistema de coleta de dados de pressão sonora na malha bidimensional. O capítulo aborda ainda características específicas sobre técnicas de medição acústica e análise em frequência dos sinais temporais adquiridos.

2.1 Funcionamento de Sistemas Automáticos

Sistemas automatizados têm se tornado cada vez mais importantes nos processos industriais e de produção. De acordo com Pio (2010), o estabelecimento de políticas de apoio a setores de siderurgia, mineração, celulose, gás e petróleo e os investimentos em áreas estratégicas, tendem a favorecer ainda mais o setor de automação.

Um dos grandes incentivadores dos sistemas automáticos tem sido o processo de globalização econômica, que conforme observação de Pio (2010), tem como um de seus principais focos o desenvolvimento, a comercialização e a utilização de tecnologias de elevado valor agregado.

Para que um processo seja caracterizado como automatizado/controlado, são necessárias duas premissas. A primeira é a existência de uma variável controlada, que é a grandeza ou condição que é controlada, normalmente a saída do sistema. A segunda, a existência de uma variável manipulada, que é a condição modificada pelo controlador, de modo que afete o valor da variável controlada. O elemento a ser controlado ou planta, pode ser desde uma pequena parte do equipamento até um conjunto de máquinas e/ou processos.

Um dos problemas da automação/controle são os distúrbios, ou seja, os sinais que tendem a afetar de maneira adversa o valor da variável de saída de um sistema, por isso como será visto na seção 2.2.2 existem maneiras de monitorar as variáveis de saída e com isso diminuir a influência dos distúrbios.

Usando o corpo humano como exemplo de sistema automático/controlado, é possível demonstrar de modo ilustrativo como um sistema automatizado funciona. Na FIG.

2.1 é apresentado um corpo humano com suas partes e classificação em um sistema automático de controle.

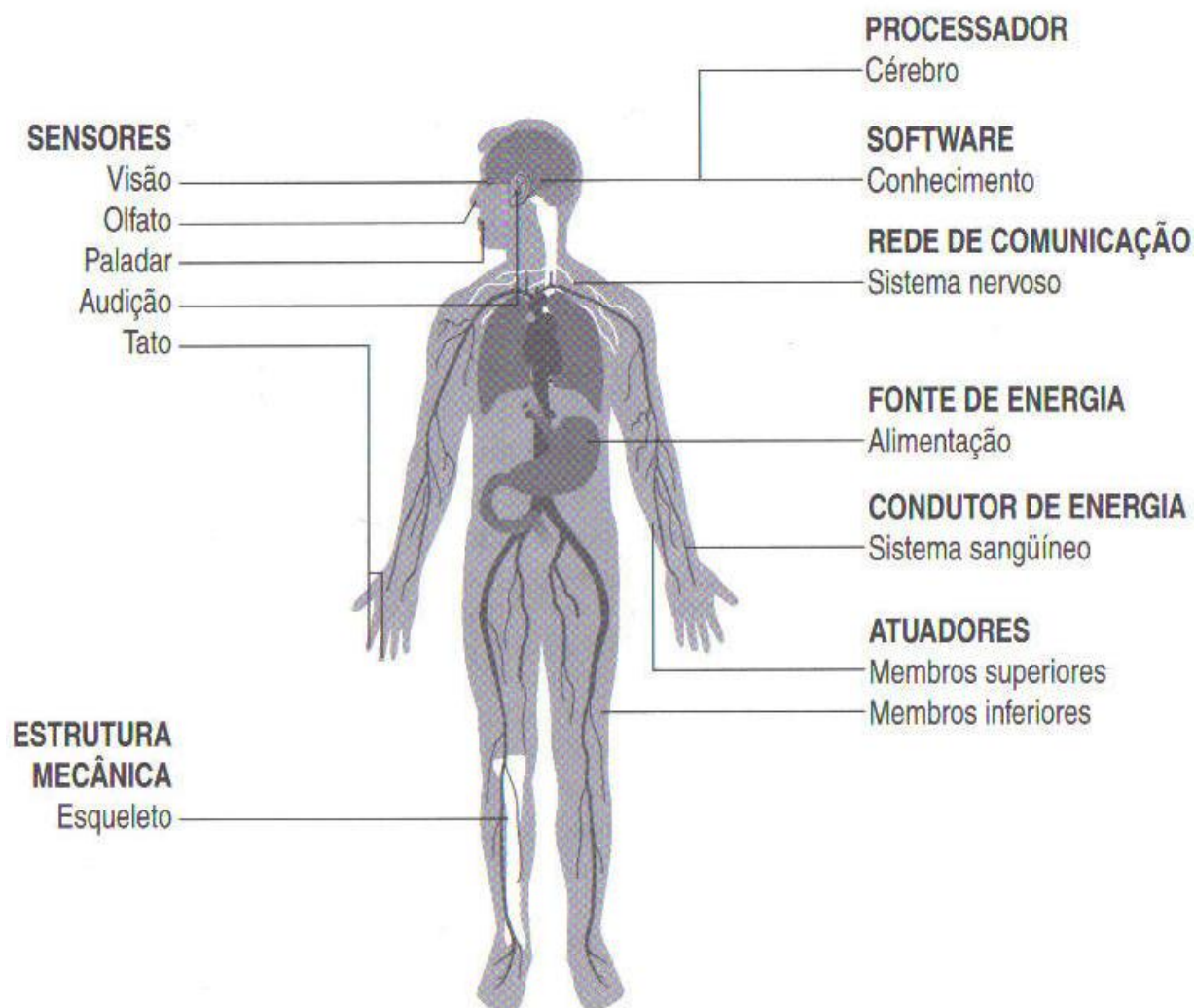


FIGURA 2.1 - Corpo Humano e Sistema Automatizado

FONTE: ROSÁRIO et. al., 2005, p.06

O QUADRO (2.1) apresenta, baseando-se na FIG. 2.1, a comparação entre o corpo humano, sistemas automatizados de forma geral e o sistema de aquisição acústica em malha bidimensional, ao qual este trabalho se dedica.

QUADRO 2.1

Comparação entre corpo humano, sistema automático, e sistema automático de aquisição acústica

Corpo Humano	Sistema Automatizado Geral	Sistema de Aquisição Acústica em Malha Bidimensional Automatizado	
		Módulo de Posicionamento	Módulo de aquisição acústica e de supervisão
Cérebro	Computador, CLP, Microcontrolador	Microcontrolador PIC18f452	Computador e placa de aquisição de sinais
Conhecimento	Software e Base de Dados	Algoritmo de Controle Hexadecimal	Sistema de Interface Gráfica em linguagem M
Órgãos dos sentidos	Sensores	Chaves fim de curso	Microfone piezo elétrico
Membros	Atuadores	Motor Elétrico	Contator (tempo de registro)
Sistema Nervoso Central	Rede de Comunicação e Transmissão de Dados	Protocolo de Comunicação Serial full duplex	Protocolo de Comunicação Serial full duplex
Alimentação	Energia do Sistema	Rede Elétrica Convencional 110 ou 220V	Rede Elétrica Convencional 110 ou 220V
Sistema Sanguíneo	Condutores de Energia, Tubos, etc.	Fios, cabos e trilhas eletrônicas diversos	Fios, cabos e trilhas eletrônicas diversos
Esqueleto	Estrutura Mecânica	Mesa posicionadora, fuso de deslizamento, acoplamentos, etc	Mesa posicionadora, fuso de deslizamento, acoplamentos, etc

2.2 Sistemas Mecânicos Automatizados

Sistemas automatizados, mecânicos ou não, têm como objetivo final atender as necessidades humanas, aumentando os níveis de produtividade e proporcionando conforto, bem estar e segurança.

Visto que as necessidades das pessoas e processos mudam, as exigências dos sistemas automatizados, inclusive os mecânicos, também se alteram, fazendo com que sistemas flexíveis facilitem o dia a dia. Exemplos de facilitadores são encontrados facilmente, como furadeiras com velocidade ajustável, sistemas de refrigeração e aquecimento domiciliar, controle de iluminação pública, tornos e máquinas de controle numérico programáveis, entre outros.

Basicamente, existem dois tipos de sistemas automáticos, divididos em sistemas em malha aberta e sistemas em malha fechada, ambos abordados nas seções 2.2.1 e 2.2.2 respectivamente.

2.2.1 Sistemas mecânicos em malha aberta

Os sistemas de controle de malha aberta são aqueles em que o sinal de saída não exerce nenhuma ação de controle no sistema (Ogata, 2003), em outras palavras isto significa que em um sistema de controle de malha aberta o sinal da variável de saída não é medido nem realimentado para comparação com o sinal da variável de entrada.

Como cita Ogata (2003), nos sistemas de malha aberta, cada entrada de referência corresponde a uma condição fixa de operação, dessa maneira, a precisão do sistema depende de uma calibração.

Os sistemas de malha aberta quando na presença de distúrbios, usualmente, não apresentam uma resposta otimizada, sendo portanto recomendados quando a relação entre a entrada e a saída for conhecida e se não houver distúrbio interno ou externo relevante. (Ogata, 2003, p.05)

Encontra-se na literatura exemplos antigos de controle passivo, como o descrito por D'Azzo e Houpis (1981). Neste exemplo, construído para abrir as portas de um templo ilustrado na FIG. 2.2, o funcionamento do sistema de malha aberta era o seguinte: a variável de controle para o sistema de acionamento era o fogo aceso no altar. O ar sob o fogo sofria uma expansão e expulsava a água de um recipiente fechado para um balde. Assim que o peso do balde atingia um certo valor, as portas se abriam. A posição das portas pode ser então considerada a saída ou resposta do sistema. Ao se apagar o fogo, o ar no recipiente esférico esfriava, diminuindo a pressão dentro do recipiente e fazendo

com que a água do balde fosse sugada de volta para o interior do recipiente, fazendo fechar a porta (D'Azzo e Houppis, 1981, p.08).

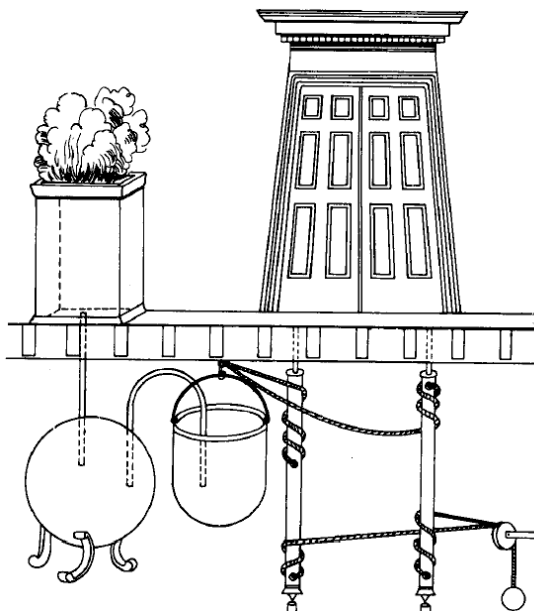


FIGURA 2.2 - Sistema Mecânico Passivo – Abertura de Porta Através do Aumento de Massa de Água

FONTE: D'Azzo e Houppis, 1981, p.10

No cotidiano pode-se facilmente encontrar sistemas de malha aberta tanto em residências, como o chuveiro elétrico, quanto na indústria, como misturadores químicos e peneiradores de vibração. A FIG. 2.3 representa Genericamente todos os sistemas passivos, onde, no caso do exemplo da FIG. 2.2, a variável de entrada seria o volume de ar e a saída seria a posição da porta.

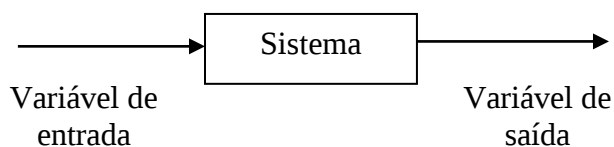


FIGURA 2.3 - Sistema Passivo

2.2.2 Sistemas mecânicos em malha fechada

Um sistema de malha fechada é definido por um sistema que “estabeleça uma relação de comparação entre a saída e a entrada de referência, utilizando a diferença como meio de controle” (Ogata, 2003, p.05).

De acordo com Rosário (2005), o primeiro sistema automático significativo foi o desenvolvido por James Watt para o controle de velocidade de uma máquina a vapor. O sistema está representado na FIG. 2.4 e funciona da seguinte maneira: assim que a velocidade de rotação da máquina a vapor aumenta, a força centrífuga que age sobre os contrapesos também aumenta, fazendo com que o deslizador suba e por conseqüência, o controlador de fluxo no interior da válvula piloto também suba, permitindo que o óleo entre pela parte superior do cilindro de potência e saia pela parte inferior, com isso o pistão do cilindro de potência desce fazendo com que a válvula se feche diminuindo a quantidade de vapor para a máquina. Caso a velocidade diminua o contrário ocorre, e o equilíbrio é alcançado em ambos os casos quando a força centrífuga se equilibra com o ajuste da mola.

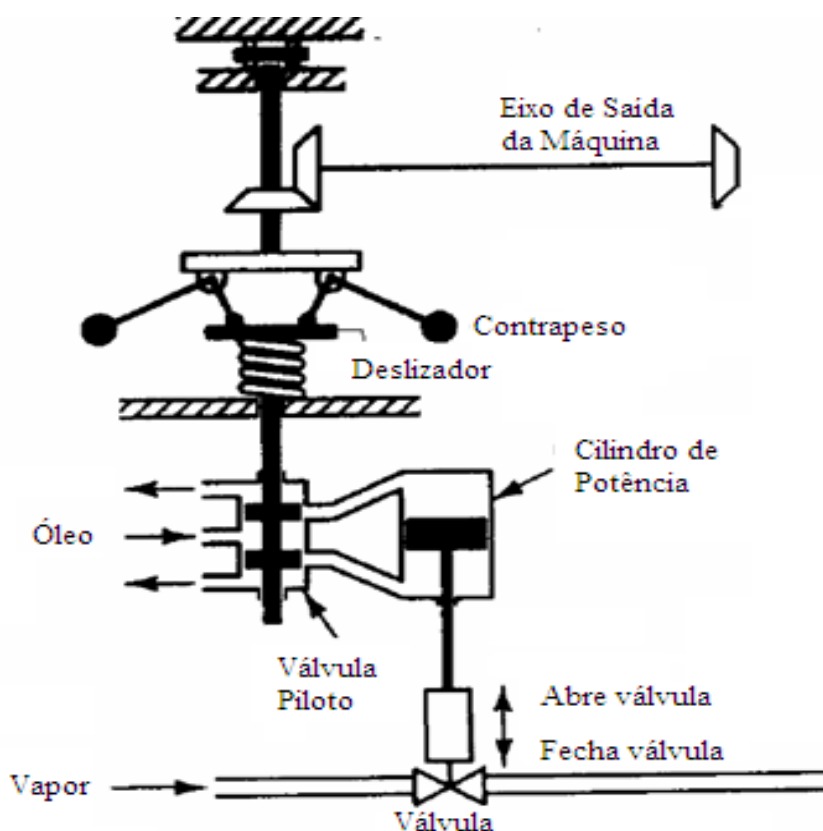


FIGURA 2.4 – Primeiro Sistema Mecânico Ativo Significativo

FONTE: Ogata , 2003, p.03

No dia a dia também se encontra sistemas ativos tanto em residências, como por exemplo, geladeiras e ar condicionados que medem a temperatura para controlar suas saídas, quanto na indústria, variando desde controladores velocidade em esteiras de carga, até níveis de potência em reatores nucleares. Um exemplo genérico de sistema ativo está representado na FIG. 2.5, onde, por exemplo, no caso do ar condicionado, o valor desejado seria a temperatura desejada, o sensor um termostato, a saída controlada a temperatura do ambiente, o sistema, o ambiente, o erro a diferença entre a temperatura desejada e a temperatura do ambiente e, por fim, o controlador seria o mecanismo que determina o funcionamento do compressor.

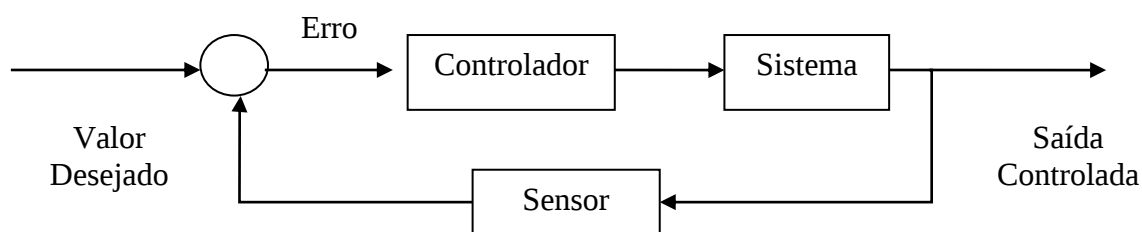


FIGURA 2.5 - Sistema Mecânico Ativo Genérico

FONTE: Lasmar, 2007, p.10

A maior dificuldade dos sistemas com realimentação é o monitoramento da saída controlada, ou seja, a obtenção de um sinal que represente o estado atual da variável, principalmente porque os sensores podem influenciar o sistema ou, não possuírem resolução e velocidade adequadas. Adicionalmente, é importante observar o tratamento do sinal obtido e sua transformação de maneira adequada, de modo que, ao ser enviado para o elemento de controle, seja possível a comparação entre o valor desejado pelo usuário e o real (Rosário, 2005).

2.3 Dispositivos Mecânicos de Transmissão

De acordo com Shigley et al. (2005, p.29), projetar um dispositivo mecânico de transmissão consiste em uma tomada de decisões onde normalmente há mais de uma solução. A escolha da solução adequada pode ser um processo difícil mas as alternativas devem seguir os critérios de:

- Adequabilidade para certificar que a adoção do projeto de fato atinge o propósito intencionado;
- Factibilidade para determinar se a solução pode ser desenvolvido com conhecimento, pessoal, investimento, material e tempo disponível;
- Aceitabilidade para avaliar se resultados prováveis equivalerem ao valor dos custos calculados.

Embora os sistemas mecânicos de transmissão possuam um campo abrangente, neste tópico será referenciada somente a alternativas de transmissão rotativa/linear escolhida para o Posicionador Automatizado com Aplicações Acústicas, que são os Parafusos de Potência ou Fusos de Transmissão.

Embora parafusos e porcas, a princípio, sejam considerados como mecanismos de fixação não permanentes, eles são a base para parafusos de potência que transformam o movimento angular em movimento linear, permitindo a transmissão de potências e torques elevados (Shigley et al., 2005, p.386).

Os parafusos de potência podem possuir diversos perfis de rosca, como triangular, trapezoidal, redondo, dente de serra ou quadrado, sendo o trapezoidal o indicado para utilização transmissão de movimentos suaves e uniformes.

De acordo com Silveira (2007), os dois tipos de fuso usualmente utilizados para deslocamento linear, são os fusos de esferas recirculantes e os de perfil trapezoidal. Embora o fuso de perfil trapezoidal possua menor rendimento, eles geralmente apresentam menores custos e podem ser utilizados como elementos eliminadores de folga para aumentar a precisão do deslocamento (Silveira, 2007, p.57).

A FIG. 2.6 apresenta um modelo de fuso com carro de esfera recirculante, onde é possível observar em detalhe o perfil do fuso e, a FIG. 2.7 apresenta modelos de fuso de perfil trapezoidal com diferentes diâmetros e passos.



FIGURA 2.6 - Fuso de Esfera

FONTE: LK, 2007, apud, Silveira, 2007, p. 57

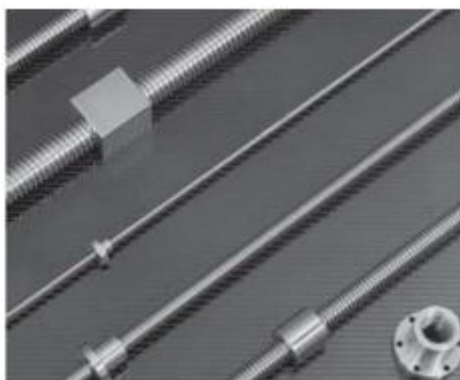


FIGURA 2.7 - Fuso de Perfil Trapezoidal

FONTE: Tekkno, 2007, apud, Silveira, 2007, p.58

2.4 Atuadores

Conforme descrição de Rosário (2005), atuador é o elemento que produz energia atuante no sistema, atendendo a comandos que podem ser manuais ou automáticos.

Para execução de atividade mecânica de deslocamento, velocidade e aceleração, existem atuadores de deslocamento linear, rotativo ou até mesmo uma combinação de ambos, como por exemplo um motor rotativo e um mecanismo de biela manivela ou, fuso sem fim e carro de deslocamento. Os atuadores podem ainda ser divididos em três grupos, hidráulico, pneumáticos e elétricos onde suas principais vantagens e desvantagens, de acordo com Rosário (2005, p.196), são descritas no QUADRO (2.2).

QUADRO 2.2

Vantagem e Desvantagem dos Modelos de Atuadores

	Vantagens	Desvantagens
Atuador Hidráulico	Momento alto e constante sob uma grande faixa de velocidade	Fonte de energia cara
	Maior precisão que o acionamento pneumático	Manutenção cara e intensa
	Possibilidade de manter um alto momento por longo período de tempo	Válvulas de precisão caras
		Possibilidade de ocorrência de vazamento de óleo
Atuador Pneumático	Operação em velocidade alta	Ausência de alta precisão
	Custo baixo	Possibilidade de ocorrência de vibrações quando o motor ou cilindro pneumático é parado
	Fácil manutenção	
	Possibilidade de manter um alto momento por longo período de tempo	Baixo torque
Atuador Elétrico	Controle preciso	Impossibilidade de manter um momento constante nas mudanças de velocidade
	Estrutura simples de fácil manutenção	
	Fonte de energia acessível	Baixa razão entre peso do motor e potência de saída
	Custo baixo	

FONTE: Rosário, 2005.

Avaliando as necessidades de projeto do “Sistema Automatizado para Medições de Sinais Acústicos em Superfície”, observa-se que atuadores elétricos possuem características adequadas a montagem (como controle preciso, baixo custo e fonte acessível de energia).

A seguir serão detalhados os atuadores de melhor aplicação ao sistema.

2.4.1 Motores elétricos

Como citado por Lasmar e Motta (2005) os motores elétricos valem-se dos princípios do eletromagnetismo, onde um campo magnético pode exercer força sobre cargas elétricas em movimento. Como uma corrente elétrica é um fluxo de cargas elétricas em movimento em um condutor, conclui-se que todo condutor percorrido por uma corrente elétrica, imerso num campo magnético, pode sofrer a ação de uma força.

2.4.1.1 Motor de Corrente Continua

Em um motor há um par de eletroímãs que se impulsionam. O primeiro eletromímã (de campo) possui os pólos norte-sul definidos, já o segundo eletroímã (de armadura) possui as características de cada pólo (norte ou sul) depende do sentido da corrente elétrica.

Um dos eletroímãs de um motor tem uma posição fixa; está ligado à armação externa do motor (campo). O outro eletroímã está colocado no eixo de rotação (armadura). Quando se liga o motor, a corrente chega à bobina de campo, determinando os pólos norte e sul externos, simultaneamente ocorre o fornecimento de corrente ao eletroímã de armadura (o que determina a posição norte ou sul dos seus pólos), fazendo com que os pólos opostos dos dois eletroímãs se atraiam. O eletroímã da armadura, tendo movimento livre, gira a fim de que os pólos opostos de ambos eletroímãs (campo e armadura) se alinhem, no entanto, um pouco antes que os pólos opostos possam se encontrar, a corrente é invertida no eletroímã da armadura, invertendo, assim, a posição de seus pólos. Eles então se repelem e o motor continua em movimento (Honda, 2006; Patané, 2008).

A FIG. 2.8 apresenta esquematicamente um motor de corrente continua onde a corrente fornecida pela bateria chega a armadura (bobina) através da escova “+” e a deixa pela escova “-” gerando um campo eletromagnético que tende a alinhar o eixo com os eletroímãs fixos (representados na figura por dois imãs permanentes) (Lasmar e Motta, 2005).

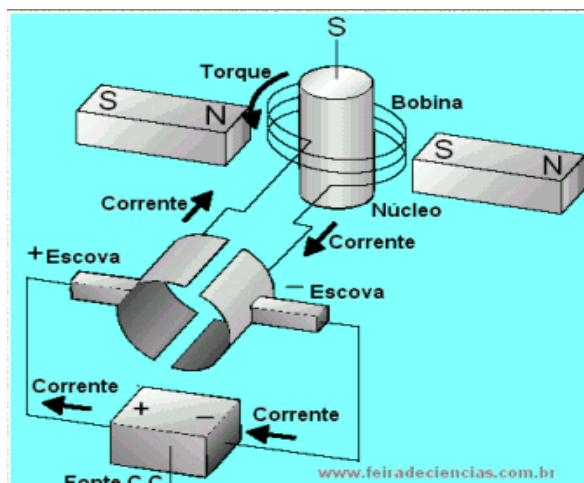


FIGURA 2.8 - Motor de Corrente Contínua

FONTE: Honda, 2006, p.06

2.4.1.2 Motor de Passo

Um motor de passo é um tipo de motor elétrico que possui um ímã permanente controlado por uma série de campos eletromagnéticos que são ativados e desativados eletronicamente. A FIG. 2.9 ilustra construtivamente o motor, onde seu centro está representado por um ímã permanente e as bobinas de acionamento por A, B, C e D.

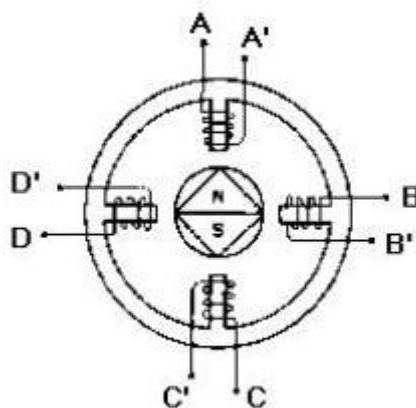


FIGURA 2.9 - Motor de Passo

FONTE: Brites e Santos, 2008, p.07

A cada pulso, o motor de passo faz um incremento rotativo (passo). Cada passo é só uma porção de uma rotação completa, então, vários pulsos podem ser aplicados para

alcançar a quantidade desejada de rotação do eixo. A FIG. 2.10 apresenta um ciclo de 4 passos do motor.

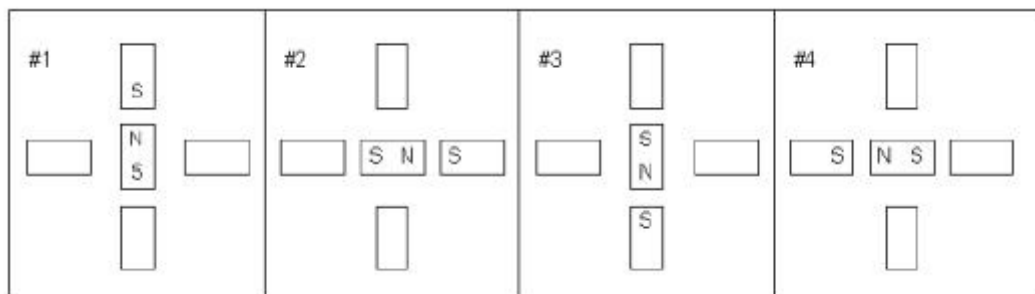


FIGURA 2.10 - Acionamento de Movimento do Motor

FONTE: Brites e Santos, 2008, p.06

A precisão de um motor de passo é principalmente determinada pelo número de passos por rotação. Para uma precisão mais alta, como mostrado na FIG. 2.11, alguns controladores de motor de passo dividem passos completos em meio-passos.

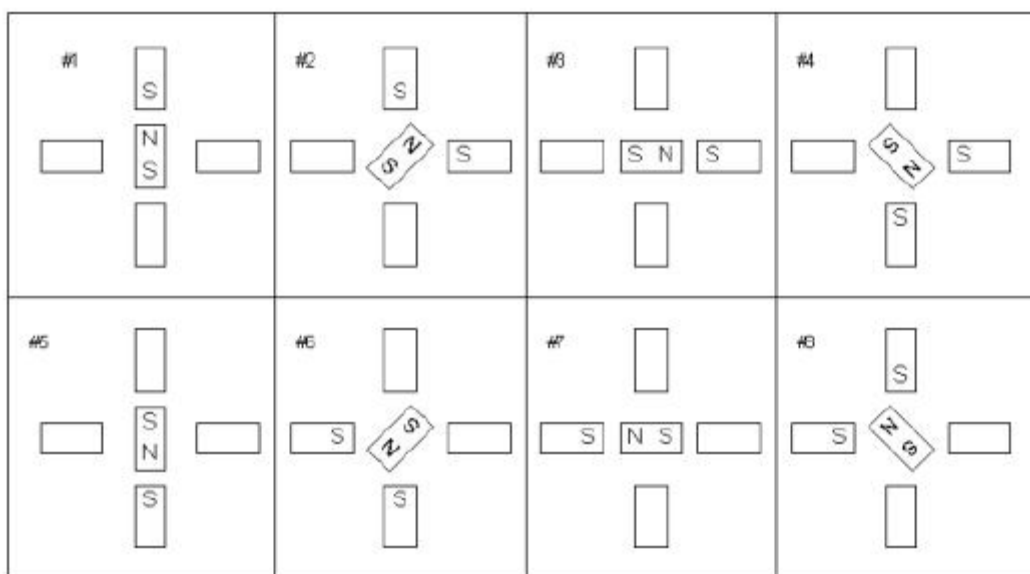


FIGURA 2.11 - Ciclo de Meio Passo

FONTE: Brites e Santos, 2008, p.06

A rotação não só tem uma relação direta ao número de pulsos, mas sua velocidade é relacionada à frequência dos mesmos. Entre cada passo, o motor pára na posição sem a ajuda de embreagens ou freios. Assim, um motor de passo pode ser

controlado de uma forma que faz girar um certo número de passos, produzindo um movimento mecânico por uma distância específica e segura a sua carga quando para.

Com a lógica apropriada, os motores de passo podem ser bidirecionais, prover aceleração rápida, parar, reverter e conectar-se facilmente com outros mecanismos digitais. Eles são caracterizados como tendo alta precisão de posicionamento, precisão no torque aplicado e excelente resposta na aceleração e desaceleração, em contra partida possuem maior grau de complexidade para sua operação (Brites e Santos, 2008, p.11).

2.5 Sensores

O sensor é um dispositivo capaz de monitorar a variação de uma grandeza física e transmitir esta informação a um sistema de indicação que seja inteligível para o elemento de controle do sistema.

De acordo com Rosário (2005) os elementos sensores podem ser definidos como transdutores quando recebem um sinal de entrada em forma de grandeza física e fornecem uma resposta de saída que reproduz certas características do sinal de entrada.

Ressalta-se que atualmente a maioria dos sensores é um transdutor elétrico, pois converte a grandeza medida, como som ou pressão, em uma grandeza elétrica, que pode ser medida por um dispositivo eletrônico (Rosário, 2005, p.58).

2.5.1 Sensores de Proximidade

Sensores de proximidade são utilizados para detecção da presença ou ausência de objetos e estruturas, sendo, de acordo com Rosário (2005), normalmente digitais do tipo on/off . Na automação de máquinas e equipamentos os mais empregados são os sensores do tipo chaves mecânicas de fim de curso, capacitivos, indutivos, ópticos, magnéticos e ultra-sônicos (Rosário, 2005, p.63).

2.5.1.1 Sensores Ópticos

Um sensor óptico é formado por um emissor e por um receptor de luz e, a depender de sua construção, são capazes de detectar diferentes tipos de formas e objetos. De acordo com Rosário (2005) existem basicamente três modos de operação dos sensores ópticos, que são detalhados a seguir e resumidos no QUADRO (2.3).

Modo de reflexão: a luz transmitida é refletida no objeto a ser localizado e chega ao receptor. Este modo de funcionamento é exemplificado na FIG. 2.12 onde a luz é absorvida por um anteparo negro e, portanto, não é refletida, no entanto, sempre que uma das garrafas fica entre o anteparo e a fonte de luz, parte dessa é refletida e retorna ao receptor.

Modo de barreira: A luz transmitida é absorvida pelo objeto a ser localizado e, portanto deixa de chegar até o receptor. Este modo de operação pode ser exemplificado pela FIG. 2.12. Supondo que o anteparo ao fundo fosse um refletor, o feixe de luz seria interrompido sempre que uma das garrafas (considerando que agora elas absorvem luz ao invés de refletir) estivesse presente.

Modo emissor-receptor: Permite tanto o modo reflexão quanto barreira, no entanto o transmissor e o receptor de luz estariam separados. Utilizando a FIG. 2.12 como exemplo, pode-se imaginar que no lugar do anteparo existe um receptor de luz, sempre que uma das garrafas atravessa o feixe, o receptor tem seu sinal interrompido e o sensor detecta a mudança.

QUADRO 2.3

Modos de Operação de Sensores Ópticos de Proximidade

Reflexão	Barreira	Emissor-Receptor
A luz é refletida no objeto e o sensor é acionado.	O objeto bloqueia a passagem de luz, e a saída do sensor é comutada.	O emissor e o receptor estão montados separadamente. Possui configuração de Reflexão e Barreira

FONTE: Lasmar, 2007, p.19

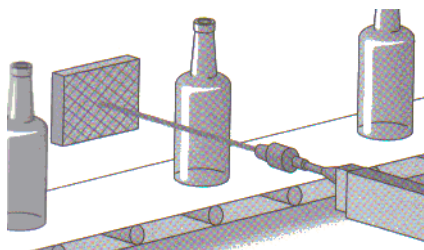


FIGURA 2.12 - Sensor Óptico de Proximidade

Fonte: Rosário, 2005, p.67

2.5.1.2 Sensor Ultra-sônico

Como explica Rosário (2005), o sensor ultra-sônico é constituído de cristais piezo-elétricos, como quartzo, que ao serem submetidos a um valor de tensão se expandem ou comprimem. Quando o valor desta tensão é alternado ou contínuo e pulsante, o cristal oscila na mesma frequência da tensão, gerando uma onda de som. Ao encontrar um obstáculo, a onda é refletida, e chega ao sensor fazendo com que o cristal receptor vibre gerando uma tensão elétrica.

A FIG. 2.13 apresenta esquematicamente o funcionamento de um sensor ultra-sônico, onde um cristal piezo elétrico gera um trem de ondas que ao confrontar com o objeto a ser detectado são refletidas em direção ao cristal receptor do sensor.

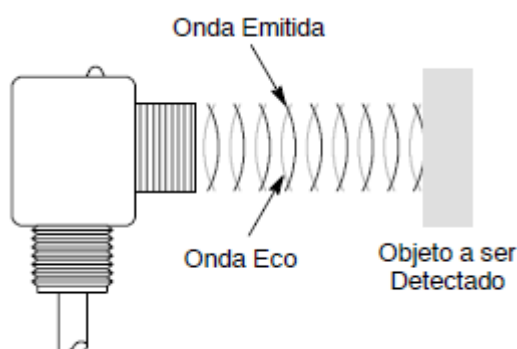


FIGURA 2.13 – Esquema de funcionamento de um sensor ultra-sônico

Fonte: Bradley, 2011, p.3-3.

2.5.1.3 Sensor Magnético

Sensores magnético são compostos por um contato feito de material magnético que é acionado na presença de um campo magnético. Eles são divididos em indutivos e capacitivos, onde os indutivos utilizam a alteração do campo magnético para detectar a presença de materiais metálicos, e os capacitivos, a alteração da capacitância de uma região causada pela presença de materiais não metálicos (Rosário, 2005).

A FIG 2.17A apresenta esquematicamente um sensor capacitivo, composto por uma sonda capacitiva, oscilador, filtro retificador de sinal e circuito de amplificação. Conforme um objeto se aproxima do sensor a capacitância da sonda capacitiva aumenta (de acordo com o tamanho e constante dielétrica do alvo) até que em determinado valor (definido pela construção eletrônica e ajuste do circuito) o oscilador é acionado, o sinal é retificado, filtrado e a saída do sensor acionada (Bradley, 2011, p.4-5).

A FIG. 2.14B apresenta um conjunto de sensores capacitivos utilizado para monitorar o preenchimento de caixas já fechadas.

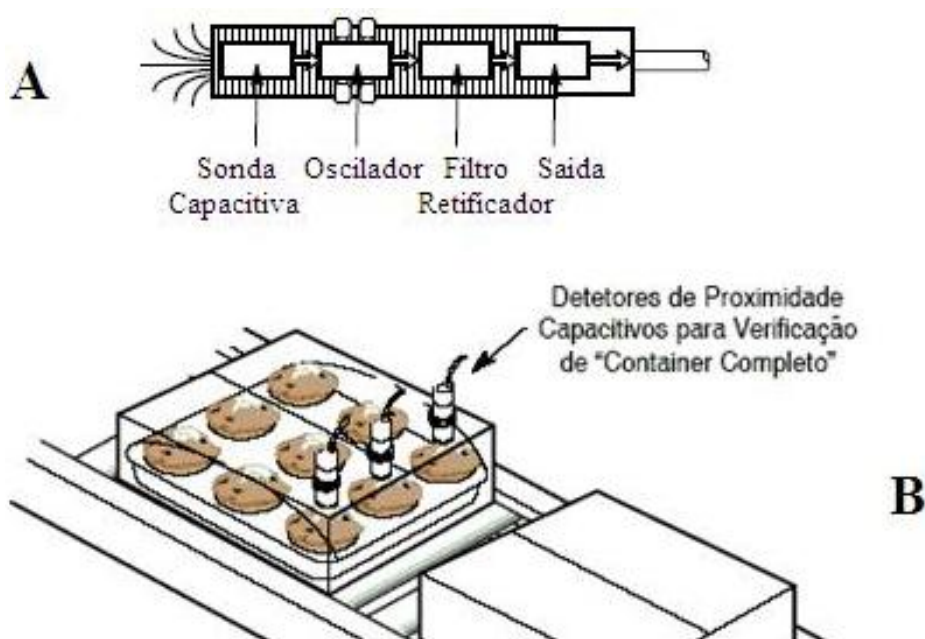


FIGURA 2.14 - Sensor Capacitivo, funcionamento e aplicação

FONTE: Bradley, 2011, p.4-5,7.

A FIG. 2.15A apresenta o funcionamento de um sensor indutivo, constituído por uma bobina, oscilador, circuito de trigger e amplificador de saída. Os sensores indutivos

de proximidade são desenhados para operar gerando um campo eletromagnético, conforme um material (especialmente os ferrosos) entram no campo magnético, correntes induzidas são geradas no material causando perda de energia e conseqüentemente diminuição da amplitude de oscilação, quando determinado nível de amplitude (determinado pela construção do circuito de trigger) é atingido, o circuito amplificador de saída muda de estado lógico (Bradley, 2011, p.2-9).

A FIG. 2.15B apresenta um par de sensores indutivos utilizados para determinar o fim de curso de um sistema de posicionamento.

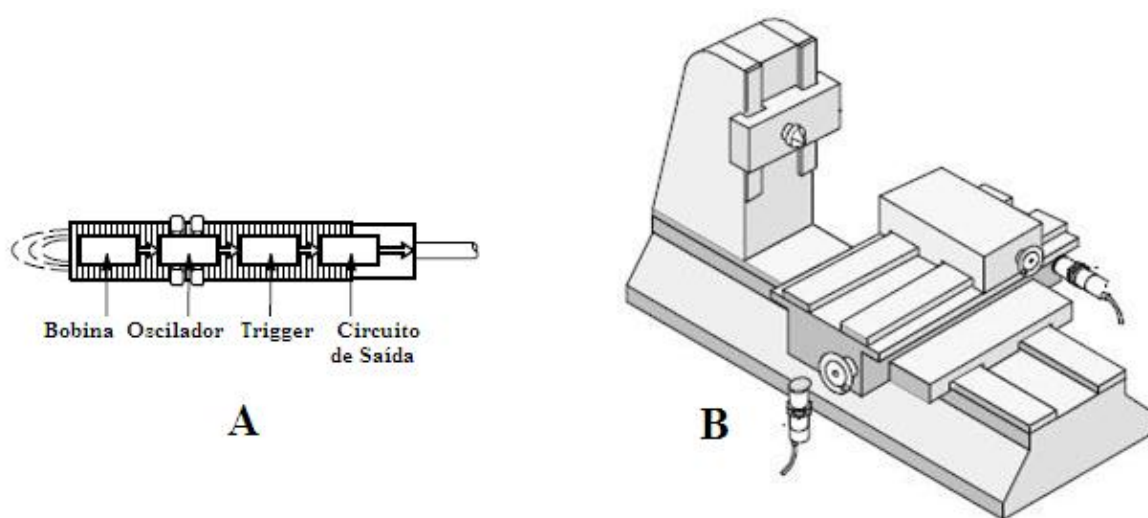


FIGURA 2.15 - Sensor Indutivo, Funcionamento e Aplicação

FONTE: Bradley, 2011, p.2-9,16.

2.5.1.4 Chave Fim de Curso

As chaves fim de curso são chaves eletromecânicas convencionais que operam somente em ligado/desligado e que apresentam duas formas gerais de operação, normalmente aberta ou normalmente fechada” (Lasmar, 2007, p.19).

A FIG. 2.16 apresenta uma chave fim de curso, onde visualiza-se os contatos normalmente fechados (NF) e abertos (NA). Sempre que a alavanca é pressionada o pino de acionamento desce abrindo os contatos NF e fechando os contatos NA.

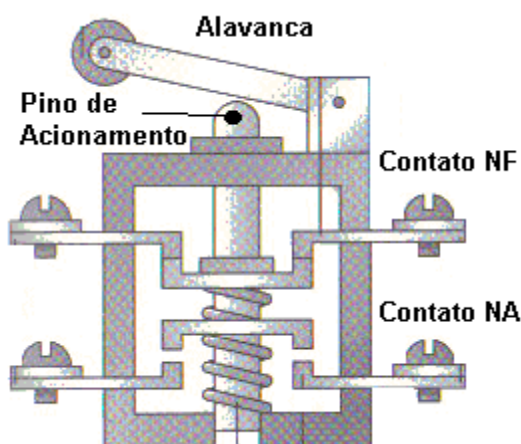


FIGURA 2.16 - Representação Esquemática de Chave Fim de Curso

FONTE: Rosário, 2005, p.63

2.5.2 Sensores Acústicos

Sensores acústicos são sensores de pressão, denominados microfones, projetados para determinada faixa de vibração acústica, basicamente eles convertem sinais acústicos (ondas sonoras) em sinais elétricos.

O princípio de funcionamento de um microfone, usualmente, consiste em fazer vibrar um pequeno diafragma que estando conectado a um circuito eletrônico gera oscilações de corrente e/ou tensão que podem ser medidas. Existem quatro tipos principais de construção para microfones que serão detalhadas a seguir.

Nos microfones dinâmicos, a pressão do ar desloca o diafragma conectado a uma bobina. Ao vibrar, o campo magnético sofre alterações e uma pequena corrente é gerada nos terminais da bobina. A FIG. 2.17 exemplifica a metodologia de funcionamento.

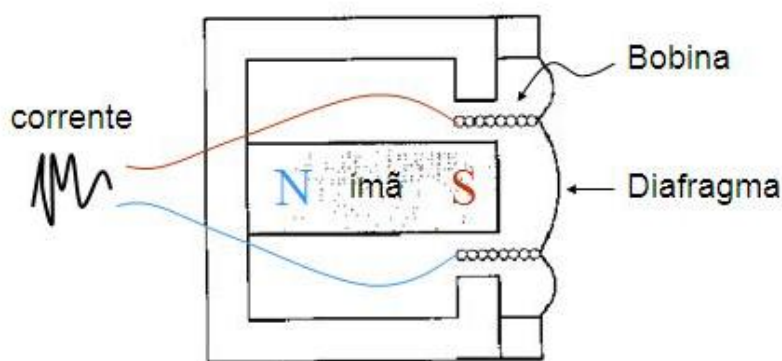


FIGURA 2.17 - Microfone Dinâmico

FONTE: Gioia e Ramalho, 2011, p.05.

Os microfones capacitivos possuem uma membrana metalizada em paralelo com uma placa metálica de fundo (*backplate*), que formam as duas placas do capacitor. Sempre que ondas de pressão sonora atingem o diafragma, as placas paralelas têm sua posição relativa alterada, fazendo com que a capacitância do sistema seja alterada (Webster, 1999). A FIG. 2.18 exemplifica este tipo de construção.

Outra característica importante dos microfones capacitivos, refere-se ao sistema de polarização que pode ser pré-polarizado, quando uma carga elétrica é inserida diretamente no dielétrico (material isolante que separa o diafragma do *backplate*), ou de polarização direta, quando as placas são polarizadas por uma fonte externa (Webster, 1999), como exemplificado na FIG. 2.19.

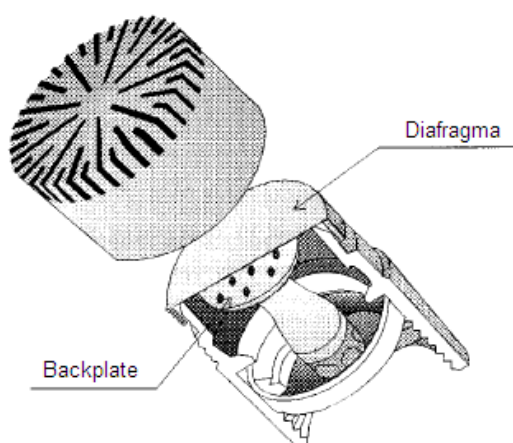


FIGURA 2.18 - Microfone Capacitivo

FONTE: Webster, 1999, p.684

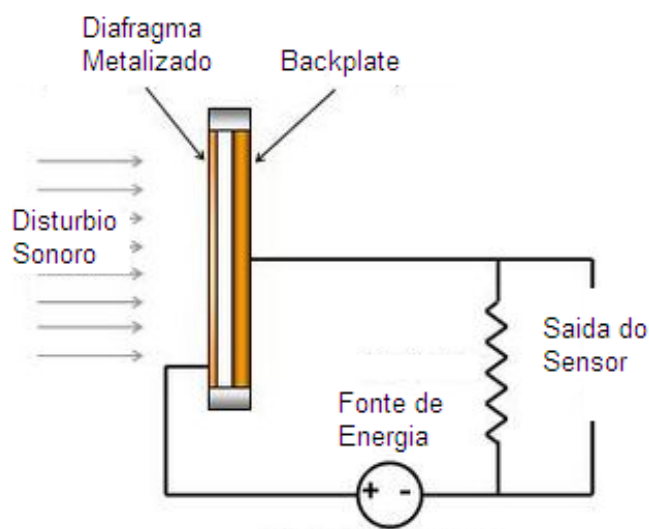


FIGURA 2.19 Microfone Capacitivo de Polarização Direta

O microfone resistivo possui um diafragma metalizado que ao sofrer influência de pressão sonora externa, comprime um compartimento preenchido com partículas de carvão. Sempre que o compartimento tem seu volume alterado, a densidade volumétrica de partículas varia fazendo com que a resistência do circuito seja alterada. A FIG. 2.20 exemplifica o princípio de funcionamento.

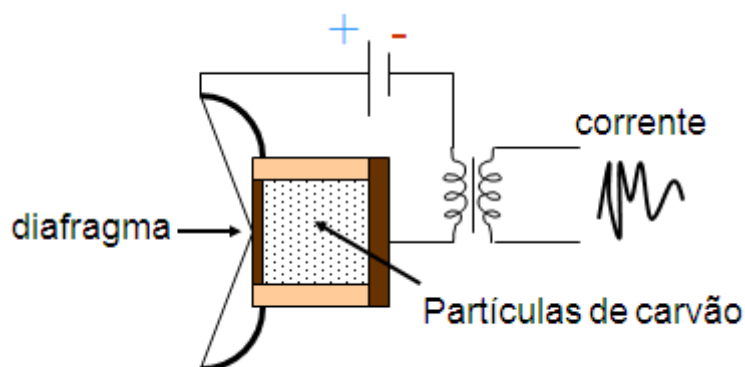


FIGURA 2.20 - Microfone Resistivo

FONTE: Goia e Ramalho, 2011, p.08.

O microfone piezelétrico possui internamente elementos piezelétricos (como cristais de quartzo) que geram diferença de potencial elétrico quando submetidos a uma força. Construtivamente, como exemplificado na FIG. 2.21, o microfone possui uma

membrana que ao ser movimentada, aplica uma força sobre o material piezelétrico, o qual, conseqüentemente, gera uma tensão de saída que pode ser medida.

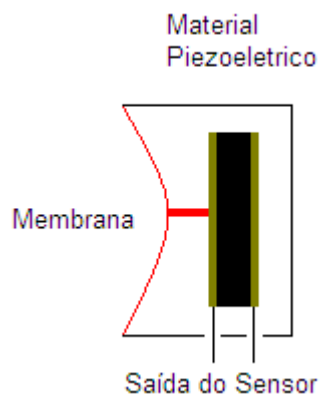


FIGURA 2.21 Microfone Piezelétrico

Independente do modelo construtivo do microfone, eles são classificados de acordo com a direção de sensoriameto. Os três tipos mais comuns (PCB, 2011, Webster, 1999) são de campo livre, campo de pressão e de campo de incidência aleatória.

Os microfones de campo livre são indicados quando os níveis de pressão sonora irradiam de uma única fonte. Este tipo de microfone é desenhado para que o campo de pressão medido no diafragma seja o mesmo na presença ou não do microfone e possuem funcionamento otimizado para câmeras anecóicas ou áreas abertas (PCB, 2011, Webster, 1999). A FIG. 2.22 exemplifica um microfone de campo livre.

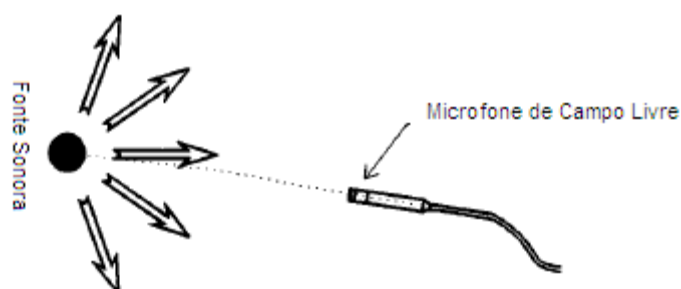


FIGURA 2.22 Microfone de Campo Livre

FONTE: Webster, 1999, p.687

Os microfones de campo de pressão são desenhados para medição de pressões uniformes, como em dutos cujo o diâmetro seja próximo ao comprimento de onda a ser

medido, ou em medidas diretamente integradas a superfícies, como nas asas de um avião (PCB, 2011, Webster, 1999). A FIG. 2.23 exemplifica um microfone de campo de pressão.

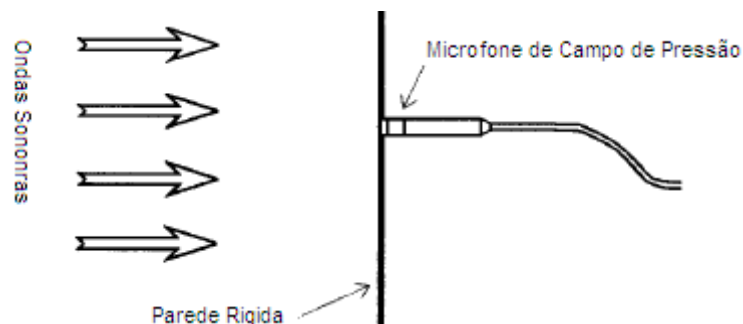


FIGURA 2.23 - Microfone de Campo de Pressão

FONTE: Webster, 1999, p.687

Os microfones de campo de incidência aleatória, também conhecidos como microfone de campo difuso, é empregado para medições de pressão sonora multi-direcional, provenientes de fontes e/ou direções múltiplas. São normalmente utilizados para monitoramento de áreas com refletores como salas de aula ou igrejas (PCB, 2011).

2.6 Método de Conversão Analógica Digital

Embora os sinais analógicos representem a natureza de grande parte dos processos, Figliola & Beasley (2007) ressaltam que existem muitas vantagens em um arranjo híbrido (analógico/digital), incluído o manuseio eficiente e o processamento rápido de grandes quantidades de dados.

Salienta-se que esta descrição de Figliola & Beasley, aplica-se ao protótipo em construção, já que o sinal, bem como o sensor acústico são analógicos, e que volume de dados processados e analisados para recuperação de altas frequências (faixa de kHz) é da ordem de megabytes, facilmente ultrapassando os gigabytes se utilizada múltiplas gravações e/ou gravações em múltiplos pontos (como a malha bi-dimensional proposta neste projeto).

Portanto, neste tópico serão apresentadas as principais técnicas de conversão Analógico-Digital (AD), ressaltando que independente da metodologia a ser utilizada na

conversão AD, é fundamental que o conversor respeite as características de resolução, faixa de operação e possua velocidade de conversão compatível com o processo.

2.6.1 Conversor de Rampa Digital

A entrada analógica é comparada com um sinal interno gerado por um conversor Digital Analógico. Este sinal interno é incrementado (de bit em bit) até que a saída do comparador lógico mude de estado, resultando no fim da conversão e conseqüentemente no valor digital que melhor se aproxima da entrada analógica (Figliola & Beasley, 2007).

A FIG. 2.24 exemplifica o método, onde após o comando de “Start”, aplicado a unidade de controle, o registrador é incrementado de bit em bit e, sua saída é transformada em um valor de saída analógico até que ocorra a mudança de estado do Comparador.

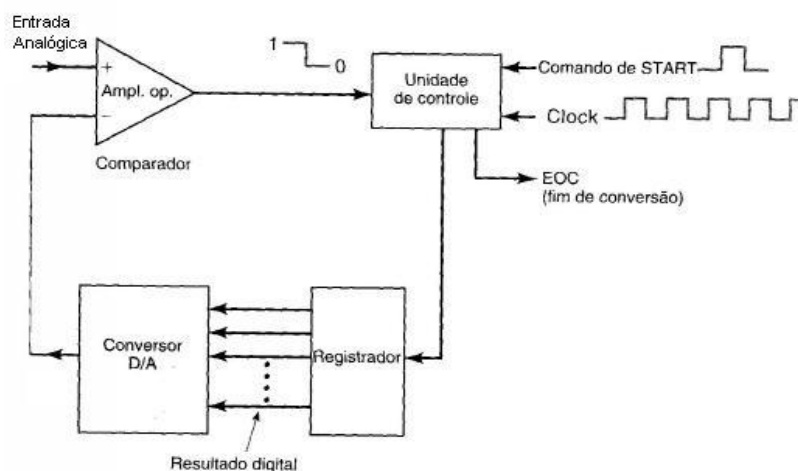


FIGURA 2.24 - Conversor de Rampa Digital

FONTE: Widmer & Tocci, 2000, p.391

A desvantagem desta metodologia é que o tempo de conversão não é constante, sendo maior quanto maior for o valor do sinal a ser convertido. Como característica intrínseca o resultado digital é sempre maior (em até um valor de incremento) que o sinal analógico medido.

2.6.2 Conversor de Aproximação Sucessiva

O mecanismo de funcionamento é o mesmo do conversor de rampa digital, no entanto, a lógica de controle inicia o processo e incrementa os valores do registrador a partir do bit mais significativo. Caso o valor gerado pelo registrador ultrapasse o valor do sinal analógico (processo medido pelo comparador), o bit causador do transpasse de sinal é desativado e o próximo bit de maior significância é ativado.

A FIG. 2.25 exemplifica o processo utilizando um conversor de 4 bits e uma tensão de referencia de 10.4V.

1. Inicialmente a lógica ativa o bit Q3 (equivalente a 8 volts),
2. A saída do comparador não é alterada (saída permanece positiva) e o bit Q2 (resultando em um sinal de 8+4V) é ativado.
3. A saída do comparador muda de estado (saída torna-se negativa), e a lógica de controle “desliga” o bit Q2 e aciona o bit Q1 (resultando em 8+0+2V)
4. A saída do comparador retoma o estado inicial (torna-se positiva) e o bit Q0 é acionado (resultando em um sinal de 8+0+2+1V)
5. A saída do comparador muda de estado (torna-se negativa) e a lógica de controle retorna o bit Q0 a sua posição inicial (resultando em um sinal de 8+0+2+0V).

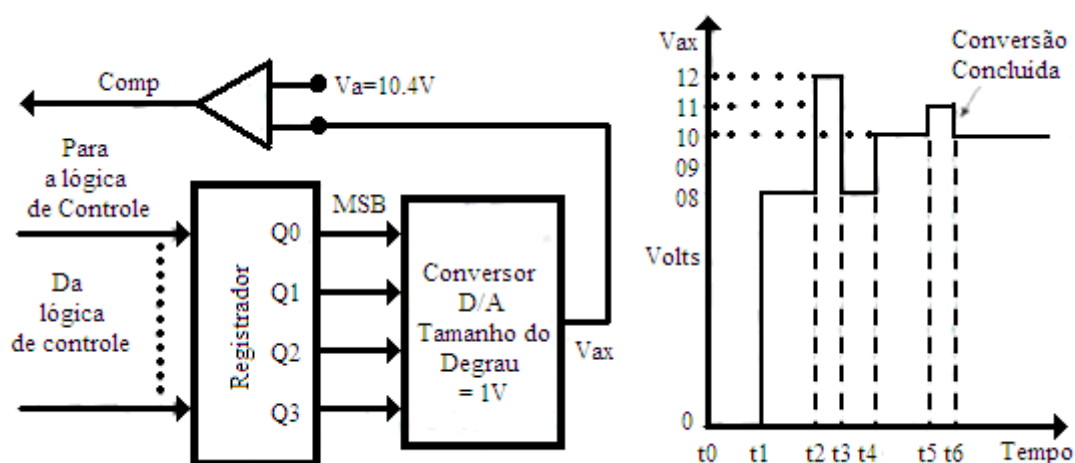


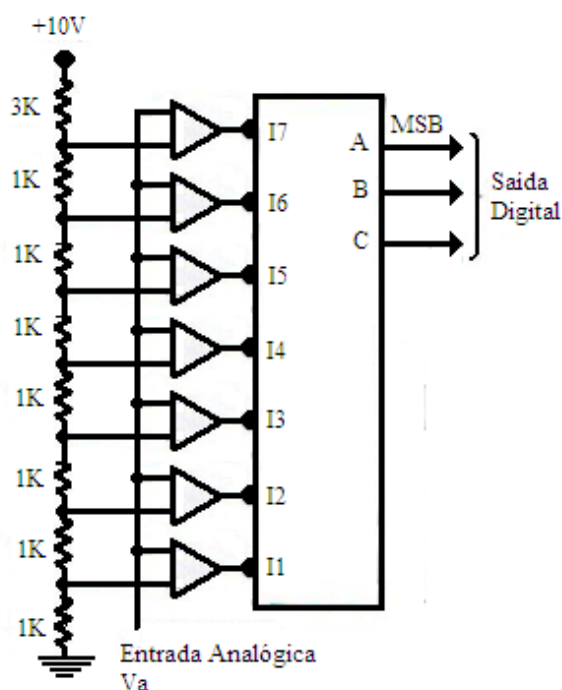
FIGURA 2.25 - ADC de Aproximação Sucessiva

FONTE: Widmer & Tocci, 2000, p.397

As características desta metodologia fazem com que o valor digital apresentado seja igual ou menor em até um incremento que o valor analógico medido, bem como que o tempo de conversão seja constante pois todos os bits passam pelo processo de verificação.

2.6.3 Conversor Flash ou Paralelo

O conversor Flash ou Paralelo possui maior complexidade construtiva, no entanto, menor tempo de conversão. Basicamente é composto por um comparador lógico para cada incremento de resolução. A FIG. 2.26 exemplifica o funcionamento do conversor, quanto maior o valor de entrada analógica, maior será o número de comparadores que mudarão de estado. O primeiro comparador a manter o estado inalterado representará o valor da entrada analógica e o codificador de prioridades determina o valor digital de saída.



Resolução = 1V

Entrada Analógica	Saída dos Comparadores							Saídas Digitais		
V_a	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C	B	A
0-1V	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
1-2V	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1
2-3V	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0
3-4V	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1
4-5V	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
5-6V	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1
6-7V	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
>7V	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1

FIGURA 2.26 - ADC Paralelo

FONTE: Widmer & Tocci, 2000, p.402

2.7 Ondas Acústicas

De acordo com Webster (1999) os sons são definidos como vibrações mecânicas em meios materiais (usualmente ar, nas interações humanas), compreendendo as faixas de infra-som para frequências menores que 20Hz, de som para frequências de 20Hz a 20kHz (audíveis para o ser humano) e de ultra-som para frequências superiores a 20kHz.

No meio acústico, as aproximações mais usuais (Webster, 1999, p.680), são de campo livre, de campo difuso e de campo de pressão. Os fenômenos de campo livre supostamente ocorrem em espaços vazios infinitos, sem presença de refletores e, na prática podem ser aproximados por medições em câmaras anecóicas. Os fenômenos de campo difuso ocorrem em situações onde existem refletores perfeitos, fazendo com que os sons se propaguem em todas as direções e na prática podem ser aproximados por câmaras reverberantes. Por fim os fenômenos do campo de pressão ocorrem em situações onde o meio de propagação possua pequenas dimensões quando comparado ao comprimento de onda, fazendo com que um campo de pressão uniforme e unidirecional percorra-o.

Em meio fluido, a propagação de ondas pode ser descrita matematicamente em termos das variáveis de pressão, velocidade das partículas e densidade do material, sendo que estas três variáveis se relacionam através das equações de Euler, de Continuidade e de Estado, formando a equação de Onda (Webster, 1999). Considerando o meio fluído em que este trabalho se desenvolve, ou seja, o ar, a equação de Euler pode ser escrita conforme EQ. (2.1), que relaciona o gradiente de pressão com a movimentação das partículas em determinado meio com densidade definida. Nesta equação, o lado esquerdo indica o gradiente de pressão, ρ é a densidade do meio e $\vec{v}$ a velocidade da partícula de fluido.

$$-\nabla p = \rho (\partial \vec{v} / \partial t) \quad (2.1)$$

A equação de Continuidade que representa a conservação de massa é descrita matematicamente pela EQ. (2.2).

$$(\partial \rho / \partial t) + \rho (\nabla \cdot \vec{v}) = 0 \quad (2.2)$$

Por fim, a equação de Estado que representa a relação entre mudanças de pressão e densidade é descrita matematicamente pela EQ. (2.3), onde “c” representa a velocidade de propagação no fluido.

$$(\partial \rho / \partial t) = (1/c^2)X(\partial p / \partial t) \quad (2.3)$$

Re-organizando as equações de Euler, Continuidade e Estado, a equação diferencial para pressão sonora apresenta-se conforme EQ. (2.4), intitulada Equação de Onda.

$$\nabla^2 p = (1/c^2)(\partial^2 p / \partial t^2) \quad (2.4)$$

2.8 Técnicas de Medição e Tratamento de Dados

De acordo com Figliola e Beasley (2007), um sinal analógico, contínuo no tempo, pode ter sua amplitude e frequência reconstruídas a partir de uma amostra discreta, no entanto, a qualidade da reconstrução dependerá da relação entre as características do sinal analógico (por exemplo, faixa de frequências), do tamanho do incremento de tempo entre cada amostragem e do período total de amostragem da medição.

2.8.1 Taxa de Amostragem

Como abordado por diversos autores (Ogata 2003, Figliola & Beasley, 2007), um dos pontos importantes para reconstrução do conteúdo de frequências de um sinal, é determinar com que periodicidade o sinal deve ser medido, ou em outras palavras, qual deve a taxa de amostragem utilizada. Matematicamente a frequência de amostragem, ou taxa de amostragem pode ser definida pela EQ (2.5), onde f_s representa a frequência de amostragem e δt o incremento de tempo entre amostras.

$$f_s = 1/\delta t \quad (2.5)$$

O GRA. (2.1) apresenta a influência da frequência de amostragem na reconstrução de um sinal analógico no domínio do tempo. O GRA(2.1a) apresenta o sinal analógico original e o GRA (2.1b, 2.1c e 2.1d) apresentam possíveis reconstruções a diferentes taxas de amostragem. Observa-se que nos GRA. (2.1b e 2.1c) ainda é possível recuperar a frequência original do sinal, já no GRA. (2.1d) o sinal reconstruído possui frequência inferior a do sinal original.

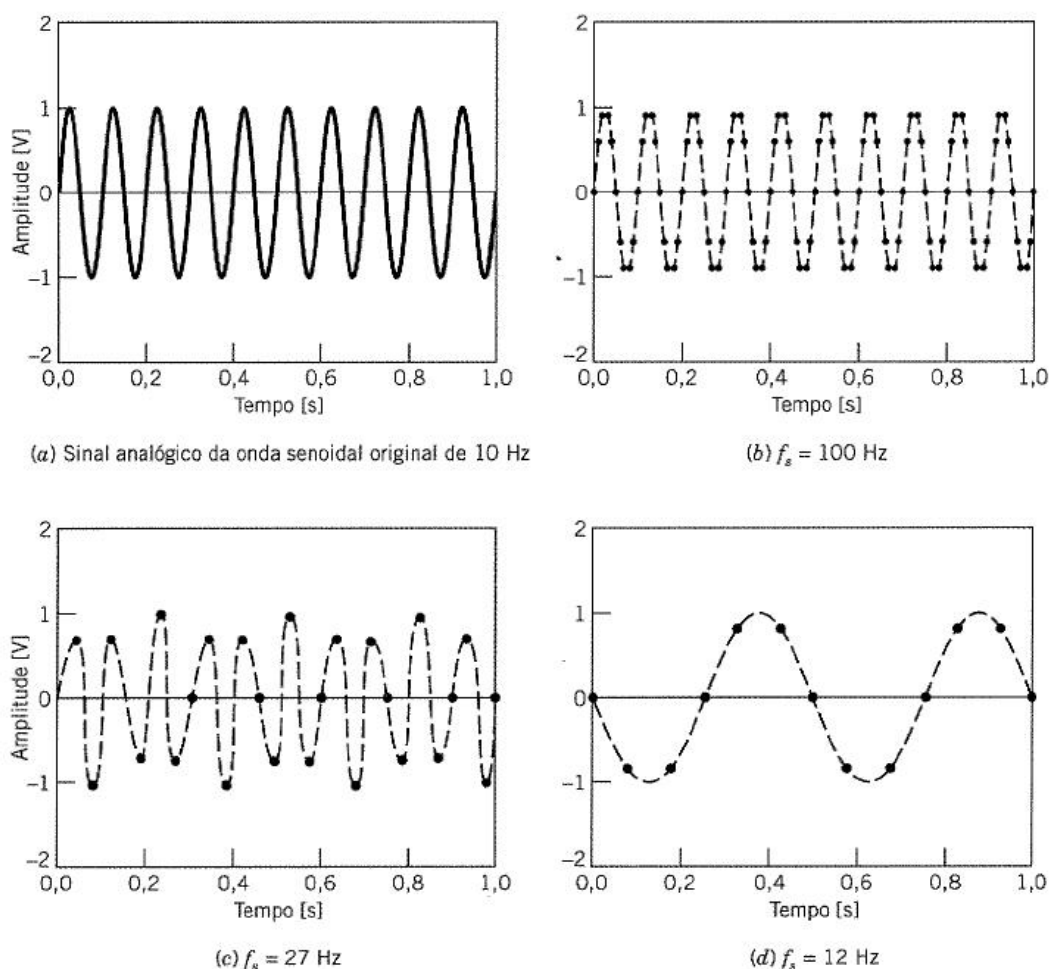


GRÁFICO 2.1 - Influência da Taxa de Amostragem

FONTE: Figliola & Beasley, 2007, p.206

Conforme o teorema da amostragem, citado entre outros por Figliola e Beasley (2007), a taxa de amostragem deve ser pelo menos duas vezes maior que a mais alta frequência contida no sinal medido, para que o sinal possa ser completamente reconstruído. Portanto, para evitar que a reconstrução de um sinal ocorra em *alias*, como no GRA. (2.1d), onde a frequência do sinal reconstruído é menor do que a frequência original, o

incremento de tempo (δt) deve possuir valor determinado pela EQ. (2.6), onde f_m representa a máxima frequência do sinal a ser amostrado.

$$\delta t = 1/2f_m \quad (2.6)$$

2.8.2 Análise em frequência

De acordo com Figliola e Beasley (2007), uma maneira eficiente de se analisar a natureza de um sinal, é classificá-lo em relação a sua magnitude e frequências constituintes, o que é possível através da análise de Fourier. Este tipo de análise permite expressar um sinal complexo, mesmo que não determinístico, por uma série de senos e cossenos de diferentes períodos e amplitudes.

Como explica Figliola e Beasley (2007), qualquer sinal periódico, pode ser representado pela soma, em uma série trigonométrica infinita, de senos e cossenos. Esta série é conhecida como série de Fourier e é representada pela EQ.(2.7), onde $y(t)$ é o sinal no tempo e A_0 , A_n , B_n são os coeficientes de Fourier, respectivamente definidos pelas EQ. (2.8), (2.9) e (2.10).

$$y(t) = A_0 + \sum_1^{\infty} (A_n \cos nt + B_n \sen nt) \quad (2.7)$$

$$A_0 = 1/2\pi \int_{-\pi}^{+\pi} y(t) \quad (2.8)$$

$$A_n = 1/\pi \int_{-\pi}^{+\pi} y(t) \cos nt \, dt \quad (2.9)$$

$$B_n = 1/\pi \int_{-\pi}^{+\pi} y(t) \sen nt \, dt \quad (2.10)$$

No caso de funções de períodos arbitrários, diferentes de 2π , a série de Fourier é representada pela fórmula de Euler, e as EQ.(2.7), (2.8), (2.9) e (2.10), são reescritas conforme EQ.(2.11), (2.12), (2.13) e (2.14), onde T é o período da função e ω a frequência angular (Figliola & Beasley, 2007).

$$y(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (A_n \cos n\omega t + B_n \sen n\omega t) \quad (2.11)$$

$$A_0 = 1/T \int_{-T/2}^{+T/2} y(t) \quad (2.12)$$

$$A_n = 2/T \int_{-T/2}^{+T/2} y(t) \cos n\omega t \, dt \quad (2.13)$$

$$B_n = 2/T \int_{-T/2}^{+T/2} y(t) \sen n\omega t \, dt \quad (2.14)$$

Considerando que o período da função tenda ao infinito, a restrição da análise de Fourier que o sinal seja periódico é eliminado, fazendo com que o espaçamento entre as componentes de frequência torne-se infinitesimal e, a série de Fourier torne-se uma integral que resulta na Transformada de Fourier (Figliola & Beasley, 2007).

Os coeficientes da Transformada de Fourier são descritos matematicamente pelas EQ. (2.15) e (2.16), já a transformada é representada pela EQ.(2.17) que a partir da igualdade representada na EQ.(2.18), pode ser representada em sua forma pela EQ.(2.19) ou sua equivalente conforme EQ.(2.20).

$$A(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} y(t) \cos \omega t \, dt \quad (2.15)$$

$$B(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} y(t) \sen \omega t \, dt \quad (2.16)$$

$$Y(\omega) = A(\omega) - iB(\omega) \quad (2.17)$$

$$e^{-i\theta} = \cos \theta - i \sin \theta \quad (2.18)$$

$$Y(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} y(t) e^{i\omega t} dt \quad (2.19)$$

$$Y(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} y(t) e^{i(2\pi f)t} dt \quad (2.20)$$

Portanto, a transformada de Fourier descreve o sinal como uma função contínua da frequência, ou seja, se $y(t)$ é medido ou conhecido, então a transformada de Fourier fornecerá as propriedades de amplitude e frequência do sinal (Figliola & Beasley, 2007, p.52).

Em muitos casos, como explica Figliola & Beasley (2007), o sinal medido será registrado por um sistema de aquisição de dados digital, fazendo com que o sinal seja armazenado na forma de uma série discreta, bem como, que seja amostrado por um período finito de tempo. Isto inviabiliza que a Transformada de Fourier seja aplicada, pois o sinal não é mais contínuo no tempo, no entanto, com a introdução da Transformada Discreta de Fourier, as propriedades de amplitude e frequência do sinal podem ser determinadas.

Observando-se as características básicas de amostragem (como descrito no tópico 2.8.1), a Transformada Discreta de Fourier é representada matematicamente pela EQ. (2.21), onde N representa o número total de amostras, r o número da amostra atual e δt o valor do intervalo de amostragem. Ressalta-se neste ponto, que a Transformada Discreta de Fourier (TDF) fornece seus resultados em intervalos discretos de frequência f_k , que são determinados conforme EQ. (2.22), o que demonstra a importância da correta amostragem, descrita no item 2.7.1, para completa descrição das frequências constituintes do sinal.

$$Y(f_k) = (2/N) \sum_{r=1}^N y(r\delta t) e^{i(2\pi r k)/N} \quad (2.21)$$

$$f_k = k / (N\delta t) \text{ onde } k = 1, 2, 3, \dots, N/2 \quad (2.22)$$

2.9 Validação Metrológica Experimental

Como cita Lasmar et al (2010), um dos aspectos chave da validação metrológica é a relação entre o conhecimento do fenômeno estudado e a capacidade, bem como veracidade das informações do sistema de medição, onde uma medição é um ato de atribuir um valor específico a uma variável física.

Em muitos casos, os sentidos humanos não são capazes de determinar de maneira satisfatória o valor de determinada variável física. Nesta situação, um sistema de medição é utilizado, já que por definição o sistema de medição é uma ferramenta com capacidade para quantificar a variável medida estendendo os sentidos humanos (Lasmar et al, 2010, p.64).

A FIG. 2.27 apresenta um sistema de medição genérico, onde o estágio do sensor representa determinado tipo de elemento físico que emprega algum fenômeno natural pelo qual é possível mensurar a variável que está sendo medida. O estágio do transdutor, representa a adequação do sinal captado para um sinal que possa ser mensurável. O estágio de condicionamento de sinal, é um estágio intermediário opcional, que tem a função de tratar (por exemplo amplificar ou filtrar) o sinal antes de chegar ao estágio de saída. Por fim, o estágio de saída é onde ocorre a apresentação do valor medido. Nos sistemas de medição envolvidos em controle de processo, um quarto estágio de controle da realimentação é utilizado, este quarto estágio possui um controlador que interpreta o sinal medido e toma uma decisão referente ao processo (Figliola & Beasley, 2007, p.03).

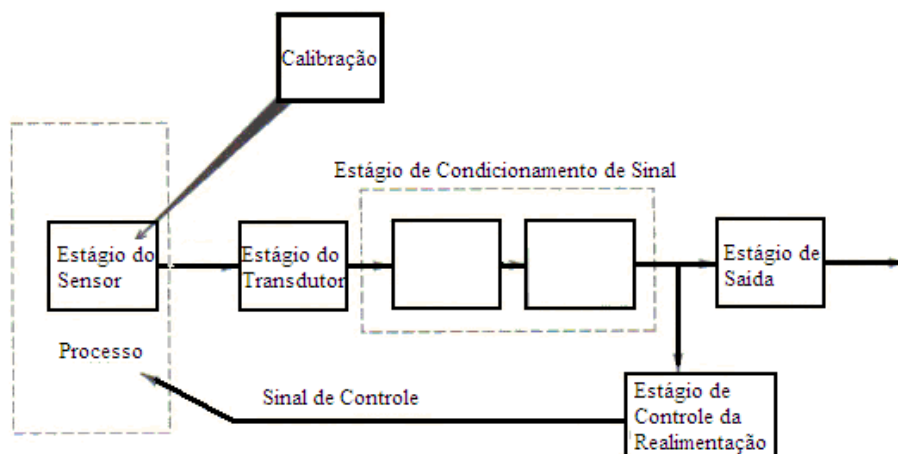


FIGURA 2.27 - Componentes de um Sistema de Medição Genérico

FONTE: Figliola & Beasley , 2007, p.02

Rúbio (2010) cita ainda que além das partes que compõem um sistema de medição, ele deve possuir características específicas, como rigidez estrutural elevada, alta estabilidade térmica, servo acionamento e sistemas de controle com alta resolução e rapidez de resposta, ampla largura de banda e baixo erro de segmento para interpolação em múltiplos eixos. Por fim, disponibilidade das correções e compensações de erros estáticos e dinâmicos do sistema.

De acordo com Gonçalves (2002), na prática, o valor "verdadeiro" de uma medição é desconhecido, usa-se então o chamado valor verdadeiro convencional (VVC), isto é, o valor conhecido com erros não superiores a um décimo do erro de medição esperado.

2.9.1 Análise de Incerteza

Visto que os erros são uma propriedade da medição, um processo de análise de incertezas é fundamental durante o processo de validação metrológica. Erros de medição são introduzidos a partir de vários elementos, por exemplo, os instrumentos individuais, a estatística finita do conjunto de dados, a metodologia utilizada. A esse processo de identificação, quantificação e combinação dos erros chamamos de análise de incerteza, ou seja, a incerteza é uma propriedade do resultado (Figliola & Beasley, 2007).

Como lembra Figliola & Beasley, 2007, mesmo uma medição chamada de exata contém pequenas quantidades de erros sistemáticos e aleatórios, o que sugere que a melhor estimativa para o valor verdadeiro de uma medição é dado pelo valor médio da amostra e pela incerteza nesse valor. O QUADRO (2.4) apresenta fontes de erros e incertezas citadas por Figliola & Beasley, 2007.

QUADRO 2.4

Fontes de Erro Durante Validação Experimental

Erros de Calibração	
1	Primário
2	Entre laboratórios
3	Calibração e técnica
Erros de Aquisição de Dados	
1	Condições de Operação do Sistema
2	Erro de Instrumento
3	Condições de Operação do Processo
4	Efeitos de Instalação do Sensor
5	Efeitos do Ambiente
6	Efeitos de Variação Espacial
7	Efeitos de Variação Temporal
Erros de Redução de Dados	
1	Ajuste da Curva
2	Truncamento

Figliola e Beasley (2007), ressaltam que o projeto do sistema de medição, pode ser iniciado com uma idéia e alguns catálogos, sendo finalizado após os dados terem sido obtidos e analisados. Portanto a análise de incerteza é aplicada antes mesmo de termos os resultados, auxiliando na seleção dos equipamentos e procedimentos.

2.9.2 Análise de Regressão

Uma variável medida é por vezes uma função de uma ou mais variáveis independentes que são controladas durante a medição. Uma análise de regressão pode ser usada para estabelecer uma relação funcional entre a variável dependente e a variável independente, a qual estabelecerá a média, admitindo que a variação encontrada na variável dependente medida segue uma distribuição normal em torno de cada valor fixo da variável independente (Figliola & Beasley, 2007).

Um método usual de regressão é a regressão polinomial, normalmente utilizando o método dos mínimos quadrados, EQ.(2.23), que objetiva minimizar a soma dos quadrados das diferenças entre os dados reais e a aproximação polinomial (Figliola & Beasley, 2007, p.115), o desvio padrão é dado pela EQ.(2.24), que possui y_i como valor indicado, y_c como valor calculado, N número de pontos utilizado para a regressão e m a ordem do polinômio ajustado.

$$y_c = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^m \quad (2.23)$$

$$S_{xy} = \sqrt{\frac{\sum (y_i - y_c)^2}{N - m - 1}} \quad (2.24)$$

Neste trabalho especificamente, a análise de regressão é utilizada como descrito por Rúbio (2010), onde a curva de regressão, calculada a partir de dados experimentais, pode ser utilizada para correção de posicionamento do Posicionador Automatizado com Aplicações Acústicas. O GRA. (2.2) apresenta um exemplo de coleta de dados experimentais, onde o erro de posicionamento pode ser minimizado a partir de uma curva de regressão aplicada para avanço e recuo durante a atuação do posicionador.

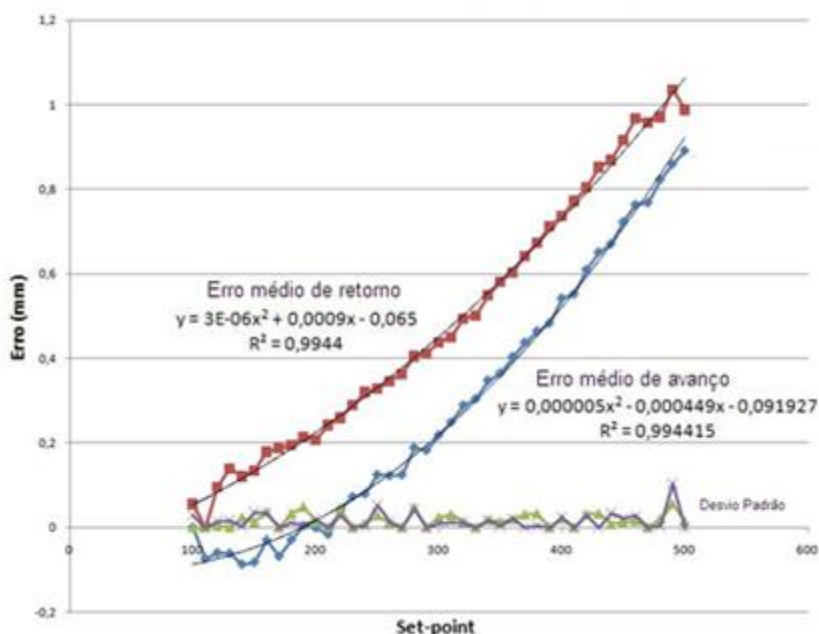


GRÁFICO 2.2 - Análise de Regressão em Erro de Posicionamento

FONTE: Lasmar et al, 2010, p. 70

2.9.3 Número de Medições Requeridas

As estatísticas podem ser usadas para auxiliar em projetos, no entanto, visto que recursos e disponibilidade são limitados, um número suficiente de medições é necessário para reduzir o erro aleatório devido à variação no conjunto de dados a um nível aceitável (Schneider, 2005).

Não há dúvidas que a amostra não representa perfeitamente toda a população, mas o importante é que o erro amostral esteja dentro dos limites aceitáveis para validação dos ensaios, testes e afins.

A princípio, utilizando como parâmetro o desvio amostral máximo, o número de medidas requerido é representado, conforme detalhado por Schneider (2005), pela EQ. (2.25), onde “n” representa o número de amostras, σ o desvio padrão, u_x o erro máximo e k o fator de abrangência especificado conforme TAB. (2.1):

$$n = (k\sigma/u_{\bar{x}}) \quad (2.25)$$

TABELA 2.1

Fator de Abrangência para Diferentes Níveis de Confiança

K (Fator de Abrangência)	Confiança
1	68,67%
2	95,45%
3	99,73%
1,654	90,00%
2,57	99,00%

FONTE: Schneider, 2007, p.10

2.10 Análise de Trabalhos Publicados e Aplicações Práticas.

Como último passo para estudar as características metodológicas necessárias à montagem do protótipo, uma breve revisão de como aquisições de vibrações acústicas tem sido realizadas, bem como poderiam ser otimizadas, são apresentadas, dentre os trabalhos avaliados ressaltam-se os seguintes estudos:

Brandão e Lenzi (2010) avaliaram três técnicas para determinação da impedância acústica de superfície, dentre elas o método da separação, onde as pressões incidentes e refletidas pelo material são mensuradas. Como resalta o autor, uma das dificuldades da técnica é a necessidade de muitos microfones e arranjos de pouca portabilidade, como o apresentado na FIG. 2.28.

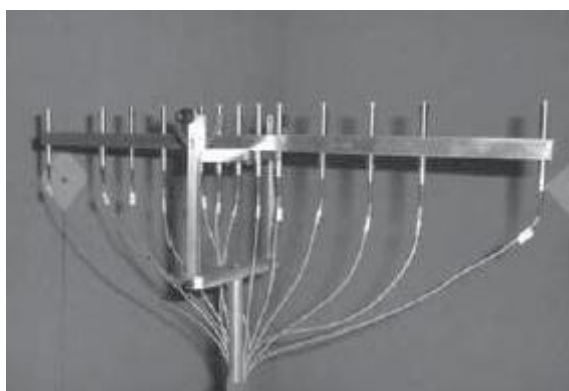


FIGURA 2.28 Arranjo de Microfones de Brandão e Lenzi

Fonte: Acústica & Vibrações, 2010, n.41 p.05.

Kruszielski et al (2008) realizaram medidas experimentais para determinação de modos normais, tempo de reverberação (Tr), ruído de fundo e isolamento acústico. Dentre os testes realizados, as medições tempo de reverberação foram repetidamente realizadas em pontos distintos utilizando instrumento de análise manual.

Souza et al (2007) avaliaram a capacidade de isolamento de cabines audiométricas considerando métodos diretos, realizados medidas na cabine, e métodos indiretos, realizando medições acústica no ambiente. Para execução do trabalho, tanto as medições realizadas em câmaras reverberantes quanto *in situ* (local onde estão instaladas) foram necessários múltiplos receptores em posições distintas. A FIG. 2.29, apresenta esquematicamente a distribuição do aparato de medição.

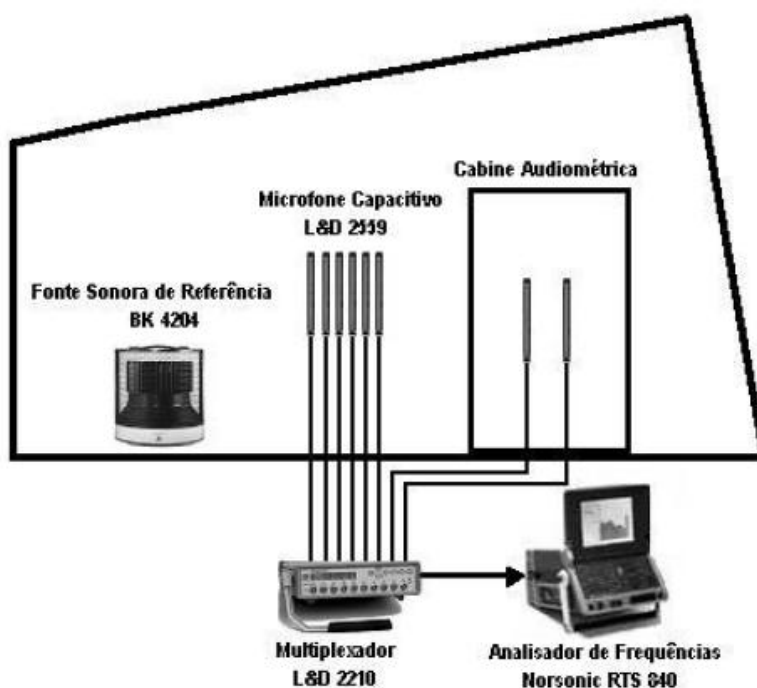


FIGURA 2.29 Aparato Eletrônico em Souza et al 2007

Fonte: Acústica e Vibrações, 2007, n. 38 p. 40

Arruda et al (2005) apresentaram estudo referente a distribuição direcional da intensidade sonora produzida por uma harpa de concreto. Para caracterização do campo de pressão e intensidade sonora, foram utilizados múltiplos sensores, distribuídos para coleta em 400 posições distintas.

Paixão et al (2004) analisaram resultados experimentais, numéricos e analíticos relativos a perda de transmissão sonora. Para execução dos experimentos, somente um sensor é utilizado, no entanto as medições ocorrem em períodos distintos.

Arruda (2003) apresentou em seu trabalho diversas ferramentas teóricas e experimentais em vibroacústica. Dentre os pontos observados pelo autor, ressalta-se o número crescente de sensores bem como a popularização de técnicas matriciais de medida.

Wang et al (1995) estudaram métodos de identificação de fontes utilizando técnicas de arranjo acústico. No desenvolvimento do trabalho, múltiplos sensores são utilizados em diferentes distribuições, como exemplificado pela FIG. 2.29.



FIGURA 2.30 Arranjo de Múltiplos Sensores em Wang et al 1995

FONTE: SAE, Noise and Vibration Conference, 1995, Vol 2 p1031.

Após análise, observa-se que a coleta manual de dados persiste em todo período avaliado (1995 a 2010), no entanto, os experimentos poderiam ser substituídos e otimizados por um sistema automatizado programável, com capacidade de leitura em

múltiplos pontos e boa repetibilidade, características estas que devem ser observadas na metodologia construtiva do protótipo.

Com base nas necessidades citadas, pode-se concluir que a automação de um procedimento deste tipo é útil e propõe-se um sistema com um único sensor e deslocamento bidimensional (suficiente para as aplicações avaliadas), capacidade de posicionamento milimétrica, deslocamento suave e alta rigidez. Com base neste estudo pretende-se definir a estrutura eletromecânica e de automação, controle, coleta e monitoramento de dados a serem definidos no tópico de metodologia.

3 METODOLOGIA

O desenvolvimento metodológico do trabalho foi dividido em etapas, detalhando as diversas partes que compõem o sistema, bem como a maneira como elas interagem.

Etapa Preliminar: Um resumo do estudo realizado foi apresentado no capítulo anterior, onde foram analisados trabalhos e pesquisas que poderiam usufruir direta ou indiretamente de um Sistema Automatizado de Aquisição de Sinais Acústicos em Superfície, bem como, quais as vantagens de utilização deste sistema em relação a metodologia inicialmente empregada.

Primeira Etapa: Será detalhada a construção do sistema de posicionamento horizontal (eixo X), apresentando informações referentes ao mecanismo de transmissão utilizado e características funcionais do dispositivo

Segunda Etapa: Será detalhada a construção do sistema de posicionamento vertical (eixo Y), apresentando informações referentes ao mecanismo de transmissão utilizado e características funcionais do dispositivo

Terceira Etapa: Será apresentada a metodologia escolhida para o efetivo acoplamento entre o eixo de movimento horizontal (eixo X) e o eixo de movimento vertical (eixo Y).

Quarta Etapa: Serão apresentados os dispositivos de atuação e sensoriamento aplicados à montagem, bem como suas características técnicas e potencialidades que fizeram com que fossem escolhidos.

Quinta Etapa: Será apresentado o dispositivo eletrônico (hardware) de controle do sistema de posicionamento, detalhando sistema de amplificação, protocolo de comunicação, características de sensoriamento e de interação com o ambiente externo.

Sexta Etapa: Será detalhado o software de controle do dispositivo de posicionamento, apresentado características em forma de fluxogramas e descrevendo a operação de cada bloco funcional.

Sétima Etapa: Serão coletados dados de posição para validação metrológica experimental do sistema. Estes dados serão posteriormente organizados e analisados a fim de apresentar as características reais da capacidade de posicionamento do sistema bem como as curvas de correção de deslocamento para minimizar os erros do módulo de deslocamento.

Oitava Etapa: Serão detalhadas as características do sistema de coleta de dados acústicos, do conversor Analógico/Digital utilizado e como eles interagem.

Nona Etapa: Consiste na escolha do Sensor Acústico com características compatíveis as medidas pretendidas em laboratório.

Décima Etapa: Será apresentado o Software de Coleta de Dados (sistema supervisor), apresentado suas características em forma de fluxogramas e descrevendo a operação de cada bloco funcional.

Um pequeno resumo esquemático da montagem final do protótipo é apresentada na FIG. 3.1, nesta figura é possível observar através de setas indicativas, o fluxo de informações e/ou atuação utilizado entre as partes, bem como os itens construtivos descritos nas etapas metodológicas.

Como importante característica construtiva, observa-se através da FIG. 3.1, que o sistema foi projetado para ter seu funcionamento modular, permitindo maior versatilidade e aplicabilidade. Basicamente o sistema foi dividido em dois módulos, sendo o primeiro, a esquerda na FIG. 3.1, responsável pelo cálculo de posicionamento, gravação e tratamento dos dados acústicos coletados e, o segundo módulo, responsável pelo controle e movimentação dos carros de deslocamento dos eixos horizontal e vertical.

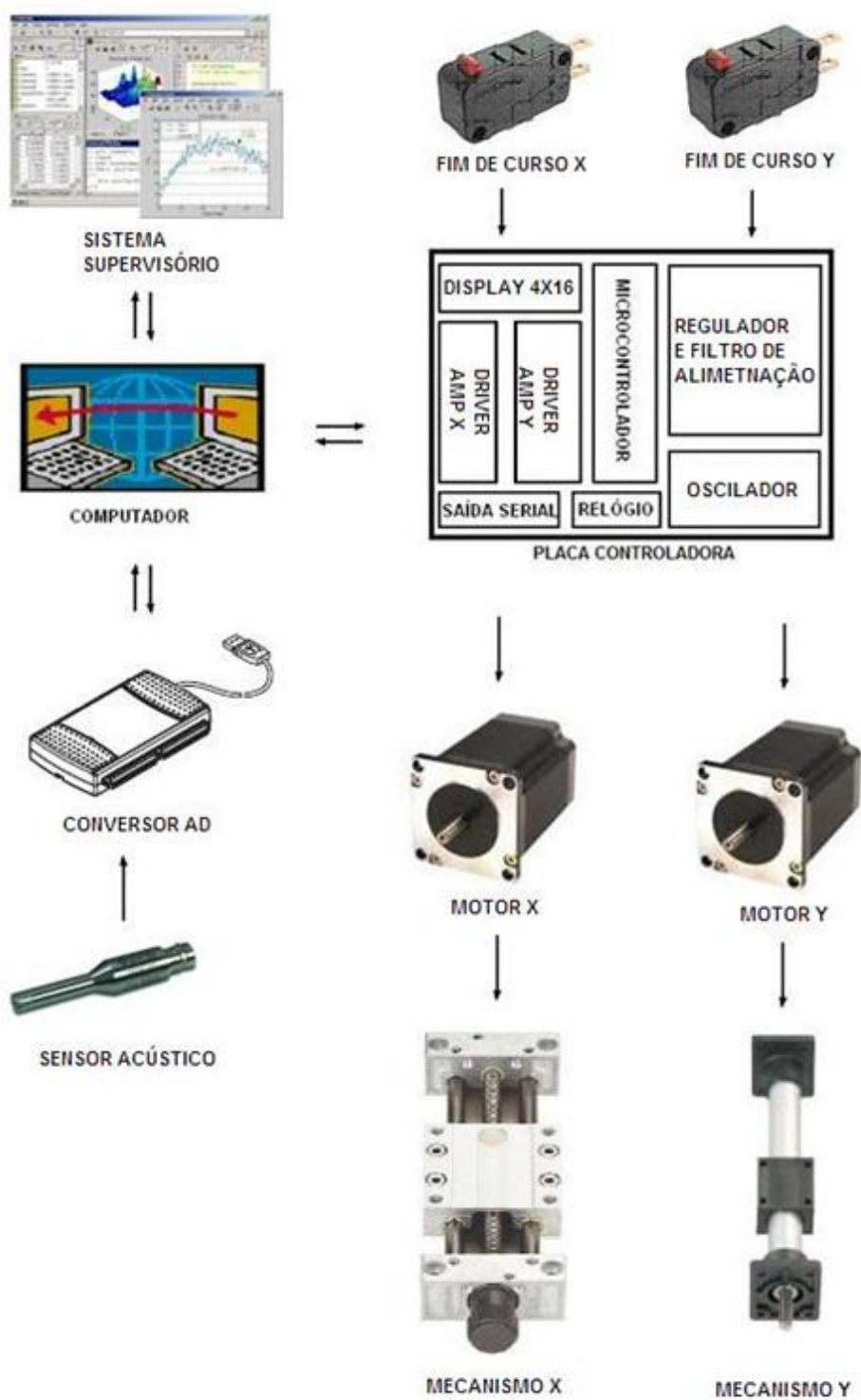


FIGURA 3.1 - Fluxo de Sinais & Esquemático de Sistema

3.1 Montagem do Eixo Horizontal X

O sistema de deslocamento do eixo horizontal X deve possuir capacidade de deslocamento milimétrica, suportar cargas da ordem de grandeza de 5 quilos (eixo vertical e sensor acústico) e alta estabilidade. As opções de mecanismos de deslocamento estudadas para este eixo foram de transmissão por fuso trapezoidal com guias lineares cilíndricas suspensas ou em W continuamente apoiada, sendo esta segunda escolhida por apresentar menor deflexão ao longo do deslocamento.

A FIG. 3.2 apresenta um sistema de deslocamento de uma máquina de fresar que utiliza guias lineares cilíndricas, já a FIG. 3.3 apresenta a guia linear continuamente apoiada em W utilizada no projeto.

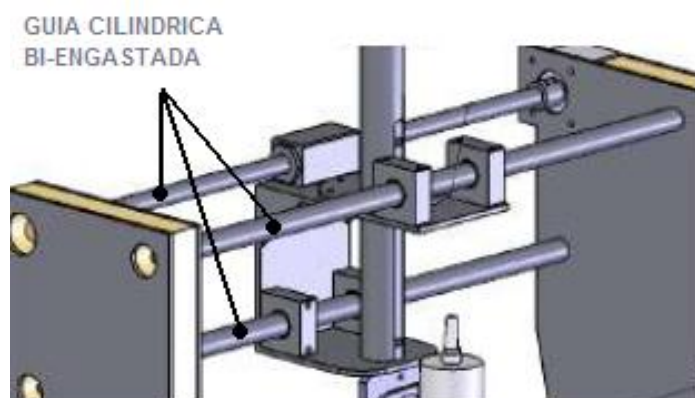


FIGURA 3.2 - Guia Linear Cilíndrica

FONTE: Silveira, 2007, p. 87



FIGURA 3.3 - Guia Linear em W continuamente Apoiada

Para deslizamento sobre a guia linear, foi utilizado um carro de posicionamento apoiado sobre quatro deslizadores com fitas lubrificantes a seco. A FIG. 3.4 apresenta um deslizador, onde o interior amarelado representa a fita de lubrificação e os orifícios alaranjados os pontos de fixação ao carro de posicionamento.



FIGURA 3.4 - Deslizador para Guia W

Neste trabalho foi utilizado para deslocamento horizontal um fuso TR14x4 (com diâmetro externo de 14mm e passo de 4mm). A FIG. 3.5 apresenta o carro de posicionamento sobre a guia linear em W e, uma haste central que representa o fuso trapezoidal.

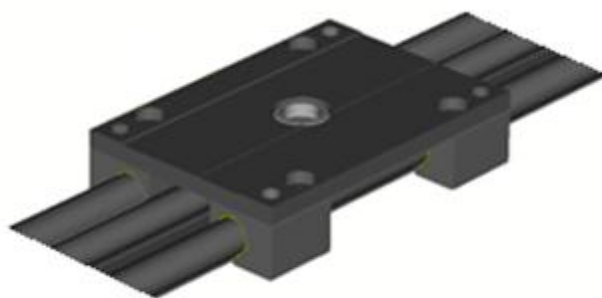


FIGURA 3.5 - Carro de Posicionamento

Por fim, a montagem final do eixo horizontal é esquematicamente representada pela FIG. 3.6, onde o curso da peça foi de 1200mm (medido externamente aos mancais) e, conforme catálogo presente no Anexo I, suporta carga (estática) de até 1600N, bem como, deslocamentos de até 1m/minuto.

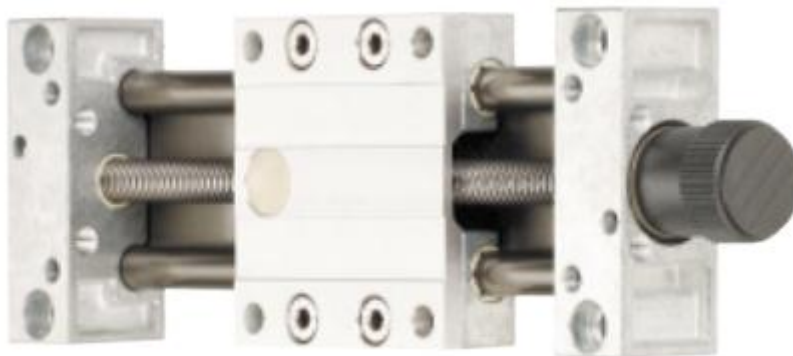


FIGURA 3.6 - Eixo de Deslocamento Horizontal

FONTE: IGUS, 2011, P.65.7

3.2 Montagem do Eixo Vertical Y

Inicialmente foram estudados três mecanismos para execução do deslocamento vertical: correia dentada, cremalheira e por fim fuso trapezoidal.

Embora alguns testes preliminares tenham sido realizados com a correia dentada 160MX, optou-se pela utilização do fuso trapezoidal, pela rigidez construtiva e maior resolução (de 3 mm por revolução). O uso da cremalheira foi descartado pela dificuldade de encontrar componentes que permitissem precisão no deslocamento.

A FIG 3.7 apresenta as partes construtivas do eixo vertical, sendo os mancais horizontais representados pelo item 1, o carro de deslocamento vertical o item 2, o rolamento interno a flange representado pelo item 3, o fuso trapezoidal TR 12x3 (com diâmetro externo de 12mm e passo de 3mm) o item 4 e o tubo guia de alumínio anodizado representado pelo item 5.

A FIG 3.8 apresenta a montagem final, sendo a FIG. 3.8B o desenho translúcido em perspectiva e a FIG3.8A representação real do eixo vertical.

Conforme detalhamento do Anexo II, o eixo vertical (equivalente ao código SET-30AEM-F) possui capacidade de carga de até 200N axial e 400N radial, suficiente para o deslocamento do sensor acústico com massa inferior a 300 gramas.

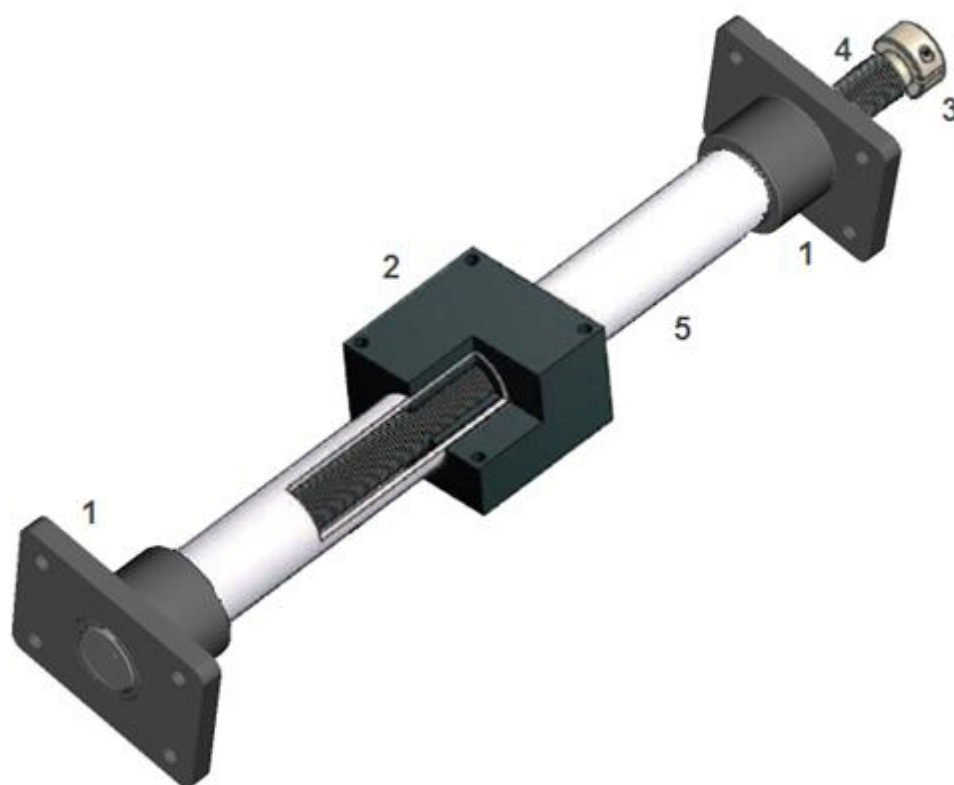


FIGURA 3.7 - Partes do Eixo Vertical

FONTE: Igus, 2011, p.25.28 (adaptado)

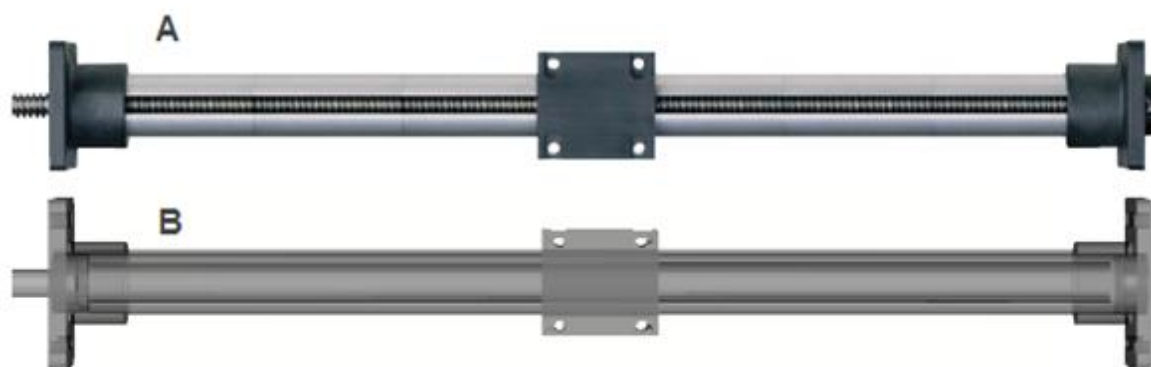


FIGURA 3.8 - Eixo de Deslocamento Vertical

3.3 Acoplamento entre eixo X e Y

Inicialmente imaginou-se o acoplamento direto do eixo de deslocamento vertical sobre a base do eixo de deslocamento horizontal, no entanto, visto que nesta montagem o motor responsável pelo acionamento do eixo vertical ficaria suspenso, optou-se pela

utilização de suporte adaptado que acomodasse o motor de acionamento e que fosse capaz de suportar o eixo de deslocamento vertical.

Para o acoplamento entre os eixos de movimentação horizontal e vertical foi utilizado um suporte de duas partes, sendo a primeira para acomodação do motor, em aço dobrado, com hastes de sustentação lateral, furação de acoplamento compatível com sistemas de deslocamento horizontal e furação do motor de acionamento. A segunda parte, para acoplamento do eixo do motor com o fuso trapezoidal, foi construída a partir da soldagem entre cilindro vazado e chapas planas. Ambas as partes do acoplamento fabricadas pela empresa Igus do Brasil, que também forneceu os eixos de movimentação horizontal e vertical.

A FIG. 3.9 apresenta o desenho em perspectiva do suporte utilizado para acoplamento, detalhando as duas partes da montagem. O item identificado como 1 representa a peça para acomodação do motor de acionamento do eixo, já o item identificado como 2, representa a peça que permite o acoplamento entre o eixo do motor e do fuso trapezoidal do sistema de deslocamento vertical.

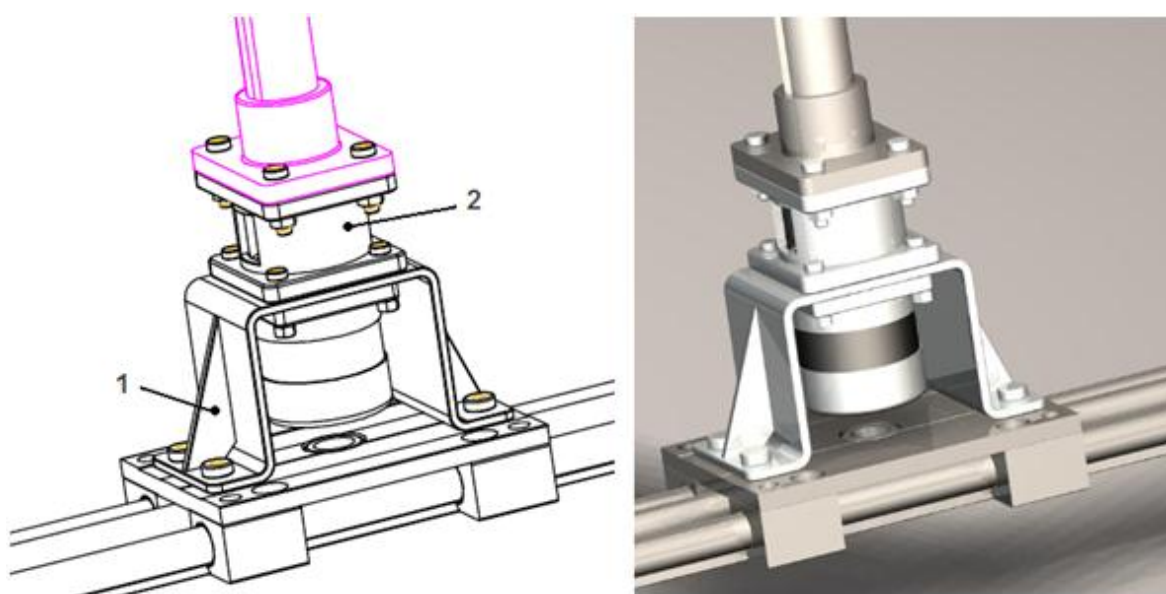


FIGURA 3.9 - Peças de Acoplamento Entre Eixos

FONTE: Elaborado por Igus do Brasil, 2010.

Para acoplamento entre o eixo do motor de passo e o fuso trapezoidal foi utilizado o acoplamento DKN 15/26 da Gerwah, representado pela FIG. 3.10 conforme

detalhamento técnico do Anexo III, o acoplamento é capaz de absorver desalinhamentos de até 1 décimo de milímetro.



FIGURA 3.10 - Acoplamento Motor/Eixo

Por fim, a FIG. 3.11 apresenta o desenho técnico da montagem final, contemplando os eixos vertical, horizontal e o sistema de acoplamento. A FIG. 3.11A, B e C, representam, respectivamente, as vistas lateral, frontal e superior do protótipo, já o Anexo IV apresenta o projeto original produzido em parceria entre a Igus do Brasil e a UFMG.

Na FIG. 3.12 observa-se a foto da montagem final real do módulo de posicionamento, onde na FIG. 3.12A é apresentada a vista frontal do conjunto eixo vertical, eixo horizontal e acoplamento, e na FIG. 3.12B a vista lateral do módulo de posicionamento.

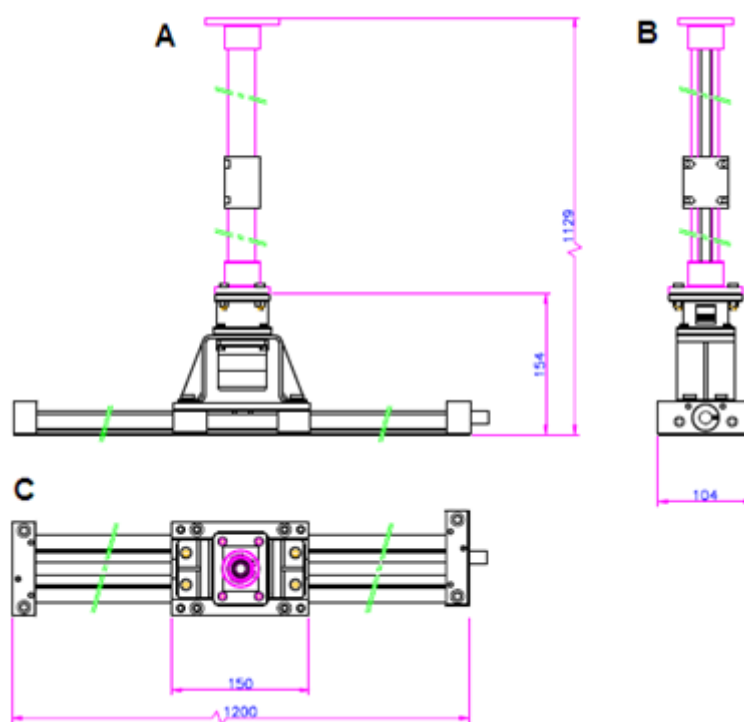


FIGURA 3.11 - Montagem dos Eixos Horizontal e Vertical em 3 Vistas

FONTE: Elaborado por Iguis do Brasil, 2010.

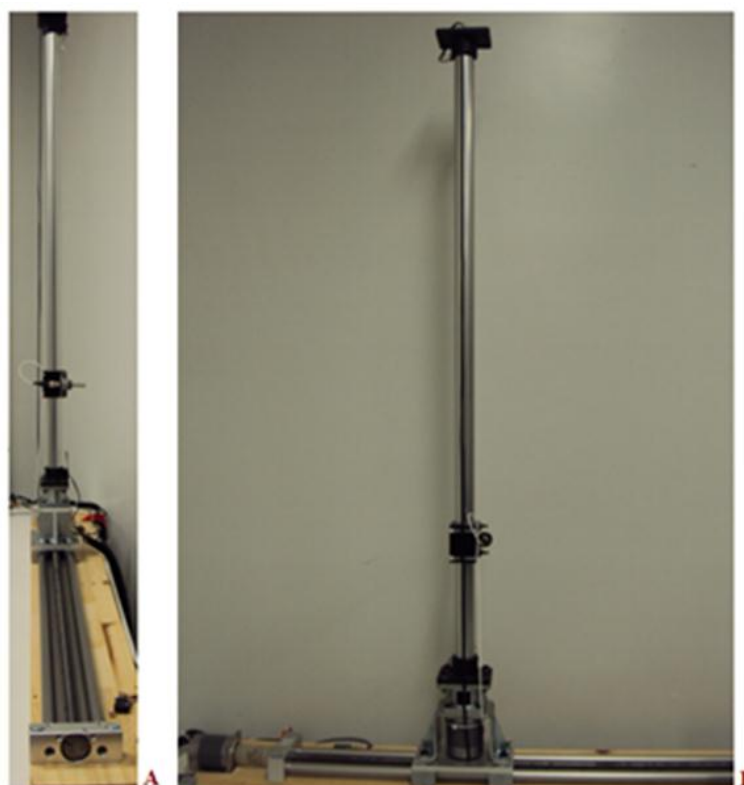


FIGURA 3.12 – Acoplamento dos Eixos Vertical e Horizontal

3.4 Escolha do Atuador e Sensor de Curso

Após breve análise do sistema de posicionamento, observou-se que por ser utilizado em laboratório, bem como por existirem poucas interferências externas capazes de alterar o estado de funcionamento do protótipo, os sistemas de controle/atuação de malha aberta descritos no tópico 2.2.1 seriam adequados a aplicação de automação. Além disso, é um sistema mais simples, capaz de fornecer o resultado de posicionamento e medição desejado.

Para acionamento dos eixos vertical e horizontal, foram utilizados motores de passo da marca Syncro, os quais, conforme detalhamento no Anexo V, possuem passo de 1.8° (200 passos por revolução) e torque de 0.8 N.m.

A ligação dos motores foi feita utilizando configuração uni-polar, conforme Anexo VI, onde os passos do motor são acionados conforme aterramento das bobinas de passo.

A FIG. 3.13 apresenta o motor de passo Syncro, utilizado na montagem, onde a direita é possível observar o cabeamento da ligação uni-polar, com os terminais comuns ocupando o mesmo canal de conexão, e a FIG. 3.14 apresenta a montagem do motor acoplado ao eixo de deslocamento vertical.



FIGURA 3.13 - Motor de Passo Syncro

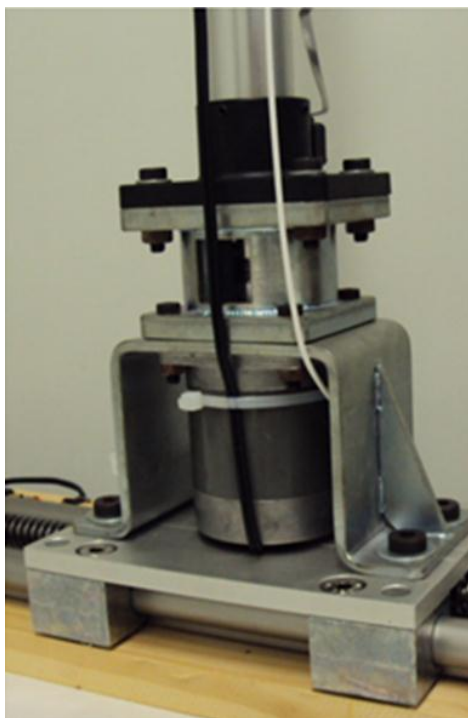


FIGURA 3.14 - Motor de Passo Acoplado ao Módulo de Deslocamento Vertical

Visto que a construção do protótipo utiliza controle em malha aberta, não foi necessária a utilização de sensores de posição, no entanto, um par de sensores de proximidade foi utilizado em cada eixo para evitar acionamento do motor após o transpasse do curso do eixo, bem como, para detectar a posição zero dos carros de deslocamento vertical e horizontal.

Assim como Lasmar (2007) e Silveira (2007), o sensor de proximidade utilizado foi do tipo eletromecânico, com maior disponibilidade no mercado local. A conexão da chave fim de curso foi realizada conforme FIG. 3.15, onde o terminal comum foi conectado ao dispositivo de controle (RB7), o terminal normalmente fechado foi conectado ao terminal de alimentação (nível lógico alto) e o terminal normalmente aberto foi conectado ao aterramento (nível lógico baixo).

Para evitar o envio de sinais indeterminados para o controlador, um resistor de pull up de 1K ohms foi utilizado, fazendo com que a entrada do sistema permaneça em nível lógico alto até que a chave tenha completado o acionamento. O resistor de pull up permite ainda que o sensoramento possa ser feito mesmo em entradas de coletor aberto como a RA4 do PIC18F452.

O valor de 1K ohm foi escolhido com base na máxima corrente de entrada sugerida pelo catálogo do fabricante Microchip (2002), limitando a entrada a 5mA (valor 5 vezes menor do que o máximo permitido).

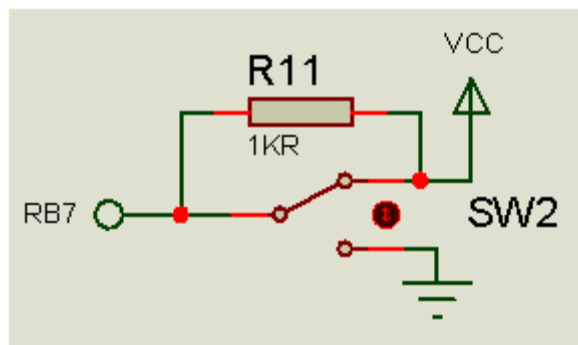


FIGURA 3.15 - Conexão das Chaves Fim de Curso

A FIG. 3.16 apresenta um sensor de proximidade devidamente instalados na extremidade do eixo horizontal. Conforme detalhamento anterior, é possível visualizar os três terminais de conexão, bem como, o resistor de pull up.



FIGURA 3.16 - Conexão das Chaves Fim de Curso

3.5 Hardware de Controle de Posicionamento

O hardware de controle de posicionamento é constituído por uma unidade microcontroladora de processamento de informações PIC18F452 (com capacidade de comunicação serial, entradas e saída analógicas e digitais), um conversor de níveis de sinais seriais MAX232, e um sistema de amplificação composto por opto-acopladores 4N33 e transistores de amplificação BDX33C.

A configuração eletrônica do microcontrolador PIC18F452, foi realizada conforme FIG. 3.17, onde as saídas e entradas possuem as seguintes funções:

- As portas RB0 e RB1 utilizadas para entrada de sinais provenientes das chaves fim de curso;
- A porta RC6 utilizada como transmissor de dados seriais e a porta RC7 como receptor de dados seriais provenientes de sistemas externos;
- As portas RD0, RD1 e RD2 utilizadas respectivamente para habilitar/desabilitar o display, definir se o código enviado refere-se a uma instrução para o controlador do display ou a uma combinação de dados para apresentação e, por fim, o pino D2 indica se o controlador deseja realizar uma leitura ou escrita de informações.
- As portas de RD3 a RD7 são utilizadas como barramento de dados para o display
- As portas RA0 a RA3 são utilizadas para acionamento do motor de passo responsável pelo movimento vertical;
- As portas RE0 a RE2 mais a porta RA4, são utilizadas para acionamento do motor de passo responsável pelo movimento horizontal.

Para acionamento e temporização dos ciclos de operação do microcontrolador, foi utilizado um oscilador de alta frequência, composto por um cristal de 20MHz e conectado a dois capacitores de 15 pico-faraday conforme indicação do fabricante em Microchip (2002, p. 18).

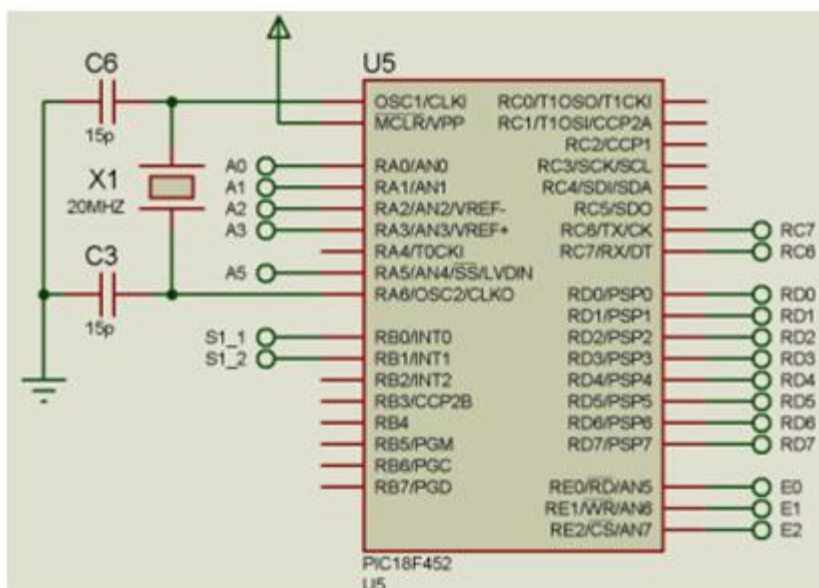


FIGURA 3.17 - PIC18F452

Visto que o protótipo do Posicionador Automatizado com Aplicações Acústicas possui sua construção em módulos comunicantes, mas independentes, um display LCD de 4 linhas e 16 caracteres (16x4) foi utilizado para servir de interface homem-máquina, apresentando o status do sistema, bem como, informações sobre a posição real, posição desejada e tempo de operação transcorrido.

A FIG. 3.18 apresenta a conexão eletrônica do display junto ao circuito de controle, onde os pinos 1, 2 e 3 são utilizados para alimentação e contraste do display, e os pinos 4 a 14 para troca de informações com o microcontrolador PIC18F452.

A última parte do hardware eletrônico do sistema de posicionamento, é composta pelo circuito de proteção e amplificação dos sinais lógicos para níveis compatíveis com a potência de ativação dos motores.

Embora o acionamento dos motores de passo ocorra com variações de tensões de 0 a 5 V, ou seja, as mesmas utilizadas pelo microcontrolador, um circuito de amplificação de corrente é necessário, visto que a máxima corrente fornecida pelo PIC18F452 é de 25mA e a utilizada pelo motor pode chegar a 5,4 A.

A FIG. 3.20 apresenta a diagramação eletrônica do circuito de amplificação dos motores, onde a primeira linha representa o módulo de amplificação do motor de acionamento do eixo horizontal e, a segunda linha, o módulo de amplificação do motor de acionamento do eixo vertical. Maior detalhamento da metodologia eletrônica de acionamento dos motores no Anexo VII.

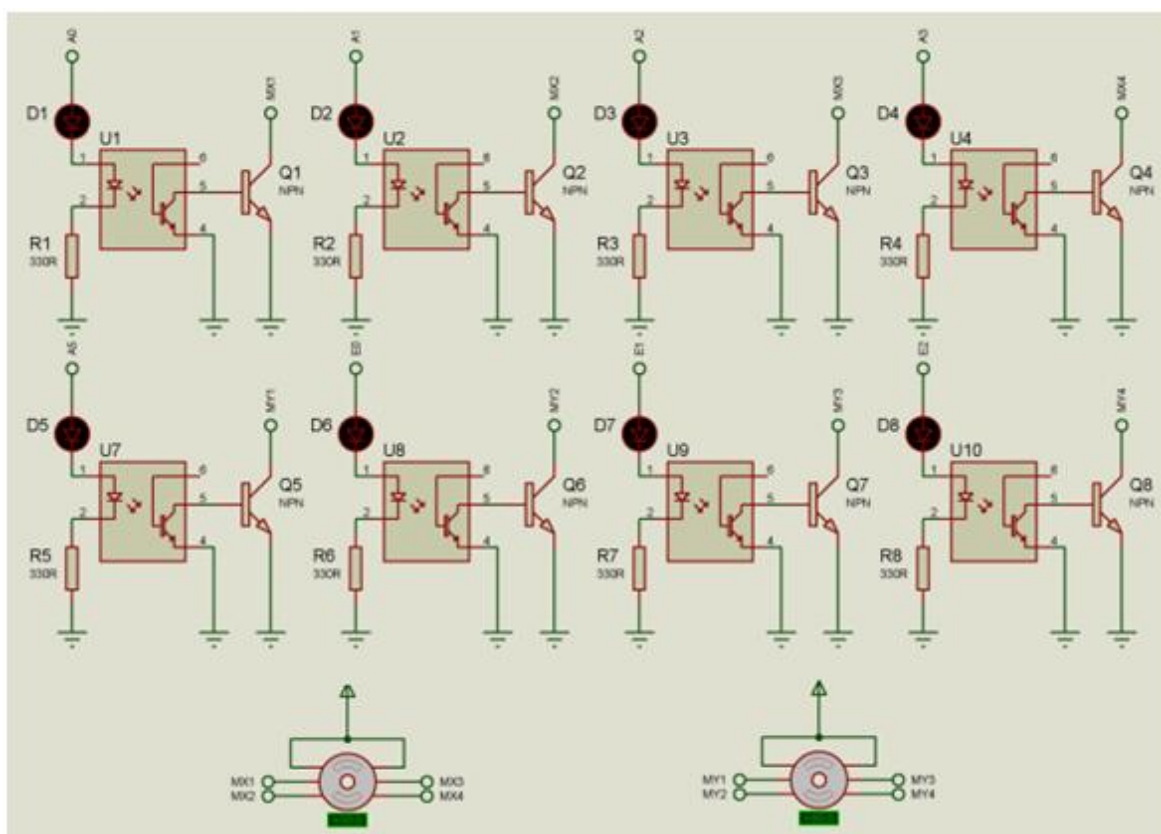


FIGURA 3.20 – Módulo de Potência dos Motores de Passo

A FIG. 3.21 apresenta a montagem do hardware de controle onde a área 1, indica o microcontrolador PIC18F452 e seu oscilador, a área 2 o dispositivo LCD para

interfaceamento Homem-Máquina, a área 3 o dispositivo de conversão de níveis lógicos RS232, a área 4 os circuitos de amplificação para acionamento dos motores e a área 5 um pequeno sistema de proteção de alimentação composto por um regulador de tensão LM7805, para evitar sobretensão de alimentação, um capacitor de entrada e um de saída, para evitar oscilações na tensão de alimentação e, um diodo para evitar alimentação do circuito com tensão reversa (polaridade invertida).

A FIG. 3.22 relaciona resumidamente todos os itens de hardware, inclusive os não apresentados na FIG. 3.21, bem como suas funções características.

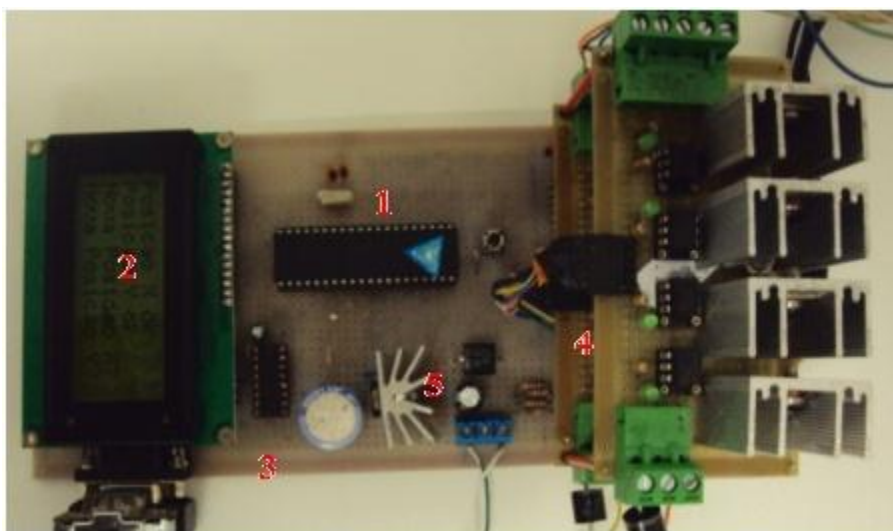


FIGURA 3.21 - Hardware de Controle de Posicionamento

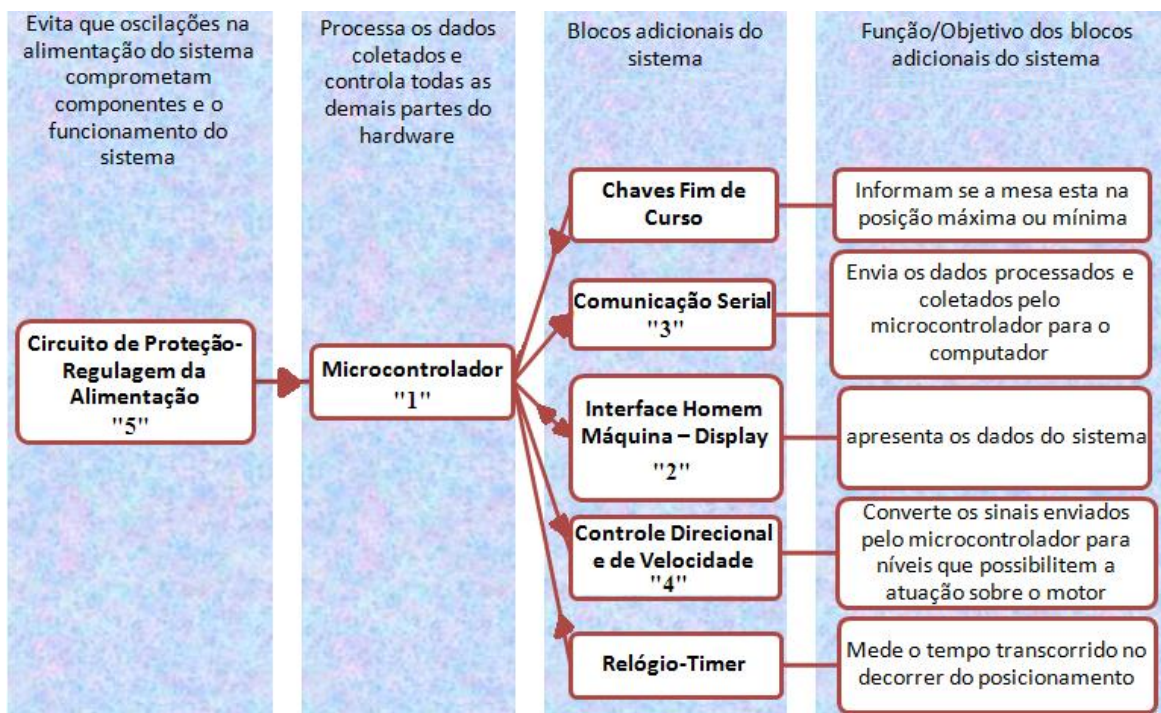


FIGURA 3.22 - Relação Hardware/Aplicação

3.6 Software de Controle de Posicionamento

O software de controle de posicionamento é responsável por converter as coordenadas enviadas pelo sistema supervisorio em sinais de atuação para os motores, bem como, de informar ao sistema supervisorio a coordenada atual do sensor acústico. A FIG. 3.23 apresenta a localização do Software de Controle de Posicionamento dentro do sistema de aquisição, bem como o fluxo de sinais do sistema.

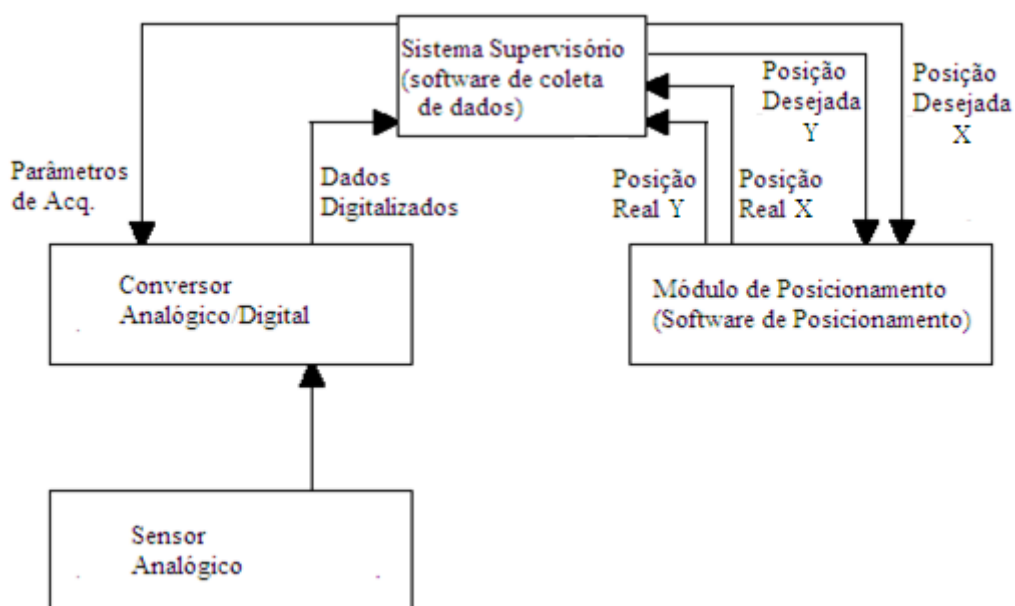


FIGURA 3.23 - Módulos Organizacionais e Fluxo de Sinais

A FIG. 3.24 representa o digrama de funcionamento do software de controle de posicionamento, o qual é dividido em três blocos:

- **Rotina de Inicialização:** Onde são definidos os parâmetros de transferência serial de dados, velocidade do oscilador, entradas e saídas do dispositivo, interrupções programáveis e variáveis de software. Nesta etapa ocorre também o posicionamento zero dos carros de deslocamento, através do acionamento em sentido anti-horário dos atuadores, até que as chaves fim de curso sejam acionadas.

- Rotina de Posicionamento: Nesta etapa, o software mantém os atuadores paralisados até que um par de coordenadas (X, Y) seja enviado pelo sistema supervisor. No momento em que as coordenadas são recebidas, o sistema calcula a distância a ser percorrida horizontal e verticalmente, convertendo-a em pulsos para o atuador. Como critério de segurança, os atuadores não podem ser acionados na direção das chaves fim de curso caso elas estejam acionadas.
- Rotina de Interrupção: Em paralelo com a rotina de posicionamento, existe uma rotina de interrupção que permite a atualização de informações recebidas e enviadas a qualquer momento. Sempre que ocorre uma alteração de estado na porta serial do microcontrolador, o sistema verifica se o código enviado é de escrita (W) ou leitura (R). Caso seja de escrita o software atualiza as coordenadas de posicionamento com os novos dados fornecidos, caso seja de leitura o software envia o par de coordenadas dos carros de deslocamento. Graças a rotina de interrupção é possível consultar a posição do dispositivo a qualquer momento, bem como, redirecioná-lo conforme necessidade.

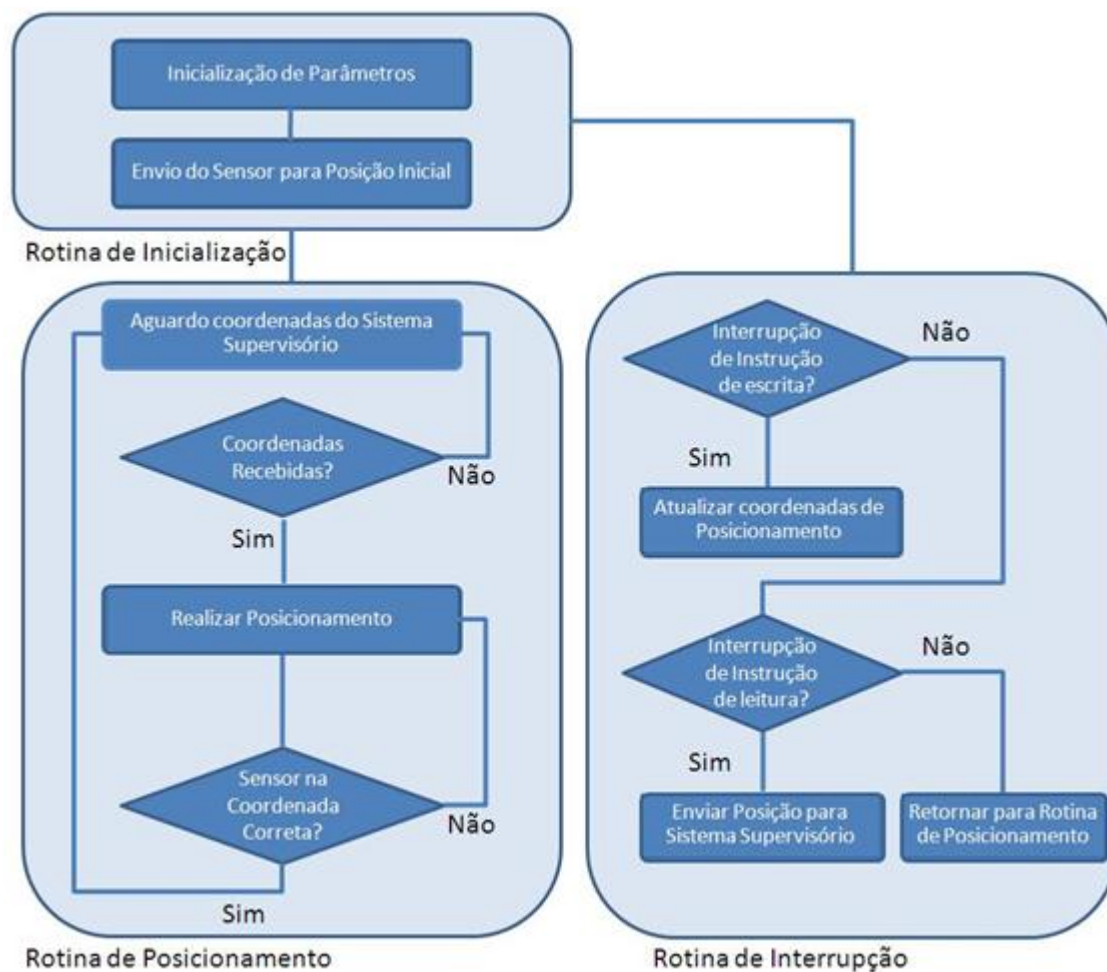


FIGURA 3.24 - Fluxo de Trabalho do Software de Posicionamento

Para conversão das coordenadas milimétricas fornecidas pelo sistema supervisório em deslocamento linear do dispositivo, o sistema vale-se do fato do passo do fuso ser constante (3 milímetros para o eixo vertical e 4 milímetros para o eixo horizontal), assim como o deslocamento angular de cada passo dos motores (1.8° por passo). Portanto cada revolução completa possui 200 pulsos (360 graus) e equivale ao deslocamento do passo do fuso (0.015mm/pulso no eixo vertical e 0.020mm/pulso no eixo horizontal). O software completo está apresentado no Anexo VIII.

3.7 Coleta de Dados para Validação de Posicionamento

Como descrito no tópico 2.9, para a validação de um instrumento/aparato recomenda-se a utilização de um Padrão Metrológico ou Sistema Verdadeiro Convencionado, com erros não superiores a um décimo do erro de medição esperado.

Para o desenvolvimento da atividade de validação, convencionou-se como padrão as medições realizadas por uma máquina de medir em coordenadas CCM (Coordinate Measuring Machine), modelo “Micro Hite 3D”, fornecida pela fábrica sueca TESA e apresentada na FIG. 3.25. A Micro Hite 3D possui como principais características:

- Curso de medição de 460x510x420mm
- Último dígito significativo na casa dos 0,001mm
- Repetibilidade de 0,003mm



FIGURA 3.25 - Máquina de Medir Coordenadas

FONTE: Tesa, 2011.

Visto que o curso da máquina de medição é inferior ao curso do protótipo em estudo, a validação metrológica ocorreu em duas etapas, sendo a primeira para o eixo

horizontal, conforme montagem apresentada na FIG. 3.26, e a segunda para o eixo vertical, conforme montagem apresentada na FIG. 3.27.

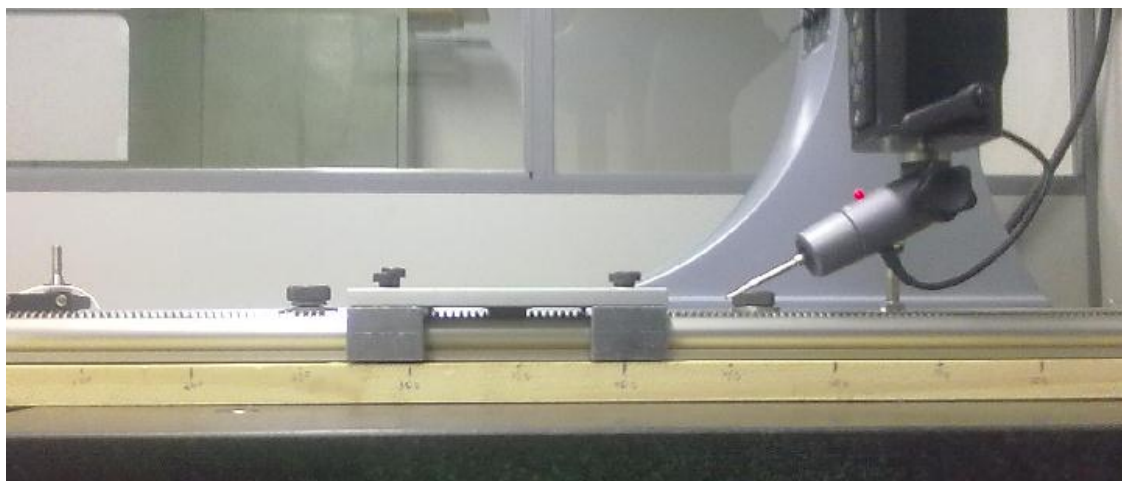


FIGURA 3.26 - Validação Metrológica do Eixo Horizontal



FIGURA 3.27 - Validação Metrológica do Eixo Vertical

Após a montagem, conforme FIG. 3.28 onde o controle de posição e o sistema de medição são apresentados, o controlador de posicionamento recebe instruções para realizar

incrementos de deslocamentos de 10mm, da posição inicial ao máximo curso mensurável pela máquina de medir coordenadas.



FIGURA 3.28 - Sistema de Validação Metrológica

Ao final da coleta de dados ao longo da trajetória de movimentação, o processo foi repetido utilizando incrementos de 20, 30, 40 e 50mm, objetivando avaliar a influência de percursos de maior amplitude, bem como, a repetibilidade de posicionamento do protótipo.

Todos os dados coletados serão apresentados no capítulo de resultados e discussão.

3.8 Escolha do Sistema de Conversão Analógico Digital

Para o sistema de conversão dos dados analógicos provenientes do sensor acústico, três possibilidades, apresentadas com suas características no QUADRO (3.1), foram avaliadas:

QUADRO 3.1

Conversores AD

Característica	Microcontrolador PIC18F452	Placa de Áudio Realtek ALC268	NIDAQ 6211
Resolução (bits)	10	16	16
Faixa de Medição (V)	0 a 5V	-1.1 a 1.1	-10 a 10 -5 a 5 -1 a 1 -0,2 a 0,2
Taxa de Amostragem (kHz)	77 (variável com temp.)	96	250

O microcontrolador, por possuir menor resolução de conversão e frequência de amostragem foi descartado. A placa de áudio foi testada e além de apresentar boa performance já faz parte do sistema supervisorio, por fim o conversor NIDAQ 6211 caracteriza um investimento adicional, no entanto, possui características mais sofisticadas de operação, como maior capacidade de amostragem e múltiplas faixas de medição.

A decisão final foi a escolha do conversor NIDAQ 6211 da National Instruments, conectado ao sistema supervisorio através de protocolo de comunicação serial por cabo USB, como indicado pela FIG. 3.29. Esta escolha ocorreu pois, além das melhores características de amostragem e resolução, observou-se experimentalmente que os níveis de medição gerados pela fonte de excitação acústica variam dentro da faixa de -0.2 a +0.2V, para o sensor utilizado (130E20).

A conexão ao sensor acústico foi realizada utilizando uma entrada diferencial, conforme indicação da FIG. 3.30, onde o elemento a esquerda representa a saída do condicionador ICP do microfone e a imagem a direita a entrada diferencial <AI1, AI9>.

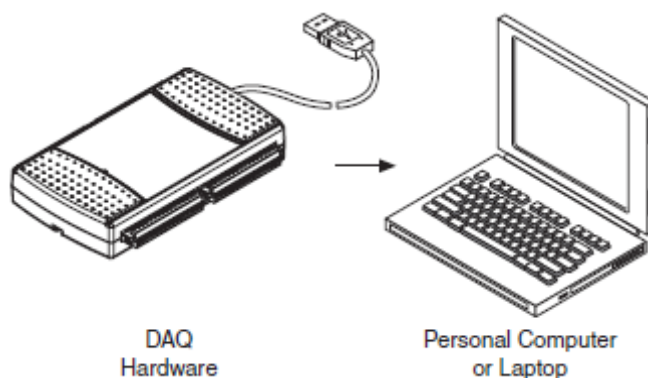


FIGURA 3.29 - Conexão DAQ6211 / Laptop

FONTE: National Instruments, 2007, p.2-1 (adaptado)

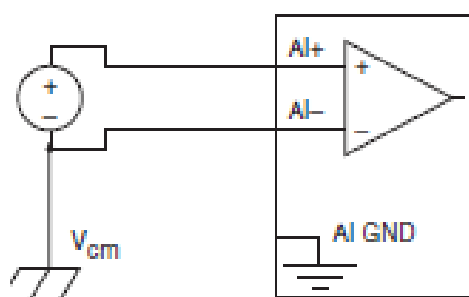


FIGURA 3.30 - Entrada Analógica Diferencial

FONTE: National Instruments, 2007, p.5-2.

3.9 Escolha do Sensor Acústico

O sensor acústico escolhido para montagem do protótipo foi o 130E20 da PCB Piezotronics Inc. A principal característica observada para escolha do sensor acústico foi a faixa de frequência de operação, visto que nos diversos trabalhos analisados (como Garcia et al, 2008, Donadon et al, 2008, Lenzi e Brandão, 2010), a faixa de medição de frequência foi sempre inferior a 10kHz, este foi o limite escolhido.

O sensor 130E20 é do tipo capacitivo, pré-polarizado e pré amplificado, o que permite menores níveis de tensão de alimentação e amplificação do sinal, além disto possui construção do tipo campo livre, ou seja, indicado para emissões de som provenientes de uma direção e para utilização em ambiente controlado, com baixo distúrbio.

A fixação do sensor acústico, como pode ser visualizado na FIG. 3.31, foi realizada utilizando uma abraçadeira metálica fixada ao carro de deslocamento vertical. O cabeamento de sinal, após acoplado ao conector BNC do sensor, foi ancorado no carro de deslocamento através de abraçadeiras de nylon, para evitar angulação do sensor.

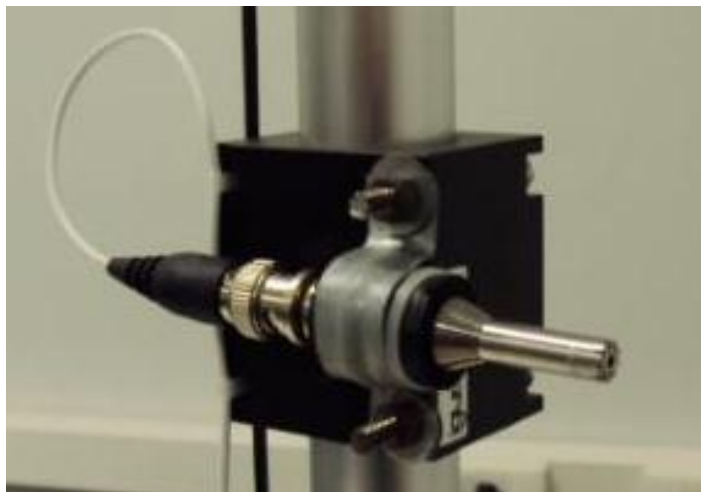


FIGURA 3.31 - Sensor Acústico

Para o correto funcionamento do sensor, um condicionador de sinais modelo 482A22 da PCB Electronics, com alta impedância de entrada (1Mohm) e ganho unitário foi utilizado, permitindo a leitura dos sinais do sensor sem comprometer suas características.

A FIG. 3.32 apresenta o condicionador de sinais, onde a chave seletora permite a escolha do canal ativo (de 1 a 4), e o mostrador indica o funcionamento do sensor.



FIGURA 3.32 – Condicionador ICP

3.10 Software de Coleta de Dados

O software de coleta dados é responsável por calcular o conjunto de coordenadas de aquisição a partir dos parâmetros fornecidos pelo usuário, enviar e receber informações para o sistema de posicionamento, capturar, apresentar e registrar os dados do sensor acústico tratados pelo conversor AD.

A metodologia de funcionamento do programa segue conforme fluxograma da FIG. 3.33, onde as diversas etapas foram divididas em blocos funcionais para maior facilidade de programação e entendimento. A descrição resumida dos blocos é:

- Inicialização de Parâmetros do Software: determina as bibliotecas que serão utilizadas, as características de visualização das janelas e as variáveis de programação.
- Aguardar Parâmetros do Usuário: Aguarda o recebimento de informações como número de pontos a ser registrado na direção vertical e horizontal, tempo de registro e distância entre pontos.
- Determinar Pontos de Coleta: executa o cálculo, a partir dos parâmetros fornecidos pelo usuário, das coordenadas X e Y dos pontos a serem amostrados.
- Determinar os Parâmetros de Registro: Ajusta o conversor analógico digital com os parâmetros de frequência de amostragem, comprimento do registro e faixa de medição.
- Enviar posição de coleta do próximo ponto a ser coletado: envia as coordenadas X e Y do ponto a ser amostrado.
- Verificar posição atual do sistema: solicita ao software de controle de posicionamento, a coordenada atual do carro de deslocamento vertical e horizontal.
- Gravar e apresentar informação acústica: Grava o dado amostrado em ASC II, apresenta o resultado da gravação final no tempo, realiza a transformada discreta de Fourier e apresenta o resultado em frequência da gravação.

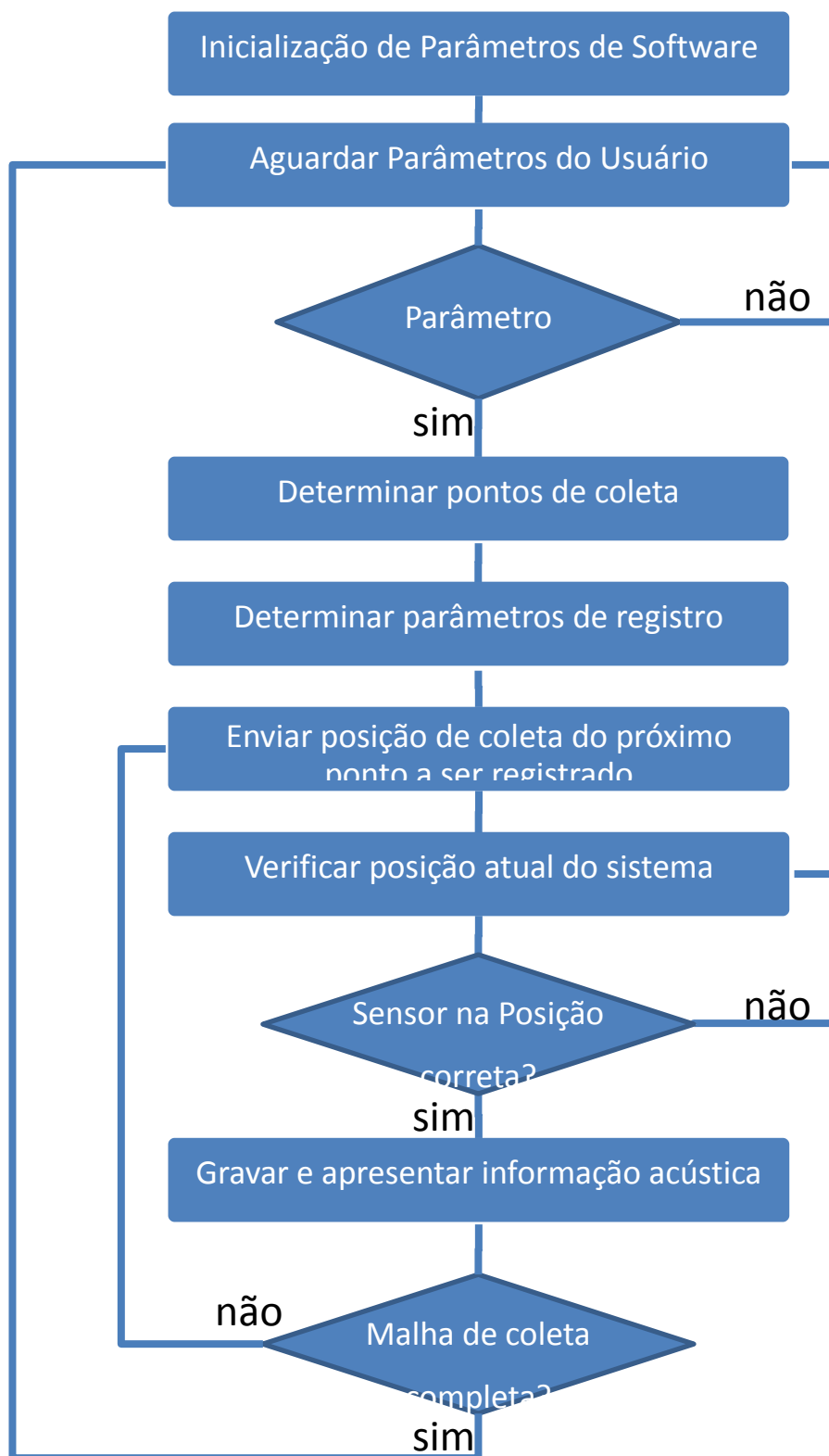


FIGURA 3.33 - Fluxo de Trabalho do Software de Medição Acústica

O software completo será apresentado no Anexo IX.

3.11 Coleta de Dados para Validação de Medida de Campo Acústico

Para validação da capacidade de medição do protótipo, uma fonte acústica foi instalada em posição fixa e excitada por um sinal elétrico senoidal de frequência constante. Após o ajuste da fonte o sistema foi parametrizado para realizar medições ao longo de uma malha pré-definida. A FIG. 3.34 detalha a montagem do sistema onde observa-se a fonte acústica ao fundo, os eixos vertical e horizontal do módulo de deslocamento sobre a bancada e o sensor acústico acoplado ao carro de deslocamento do eixo vertical. Sob a bancada estão distribuídos o sistema supervisor, uma unidade de armazenamento de dados e módulo de hardware responsável pela alimentação do conjunto, conversão de sinais e acionamento do módulo de deslocamento.

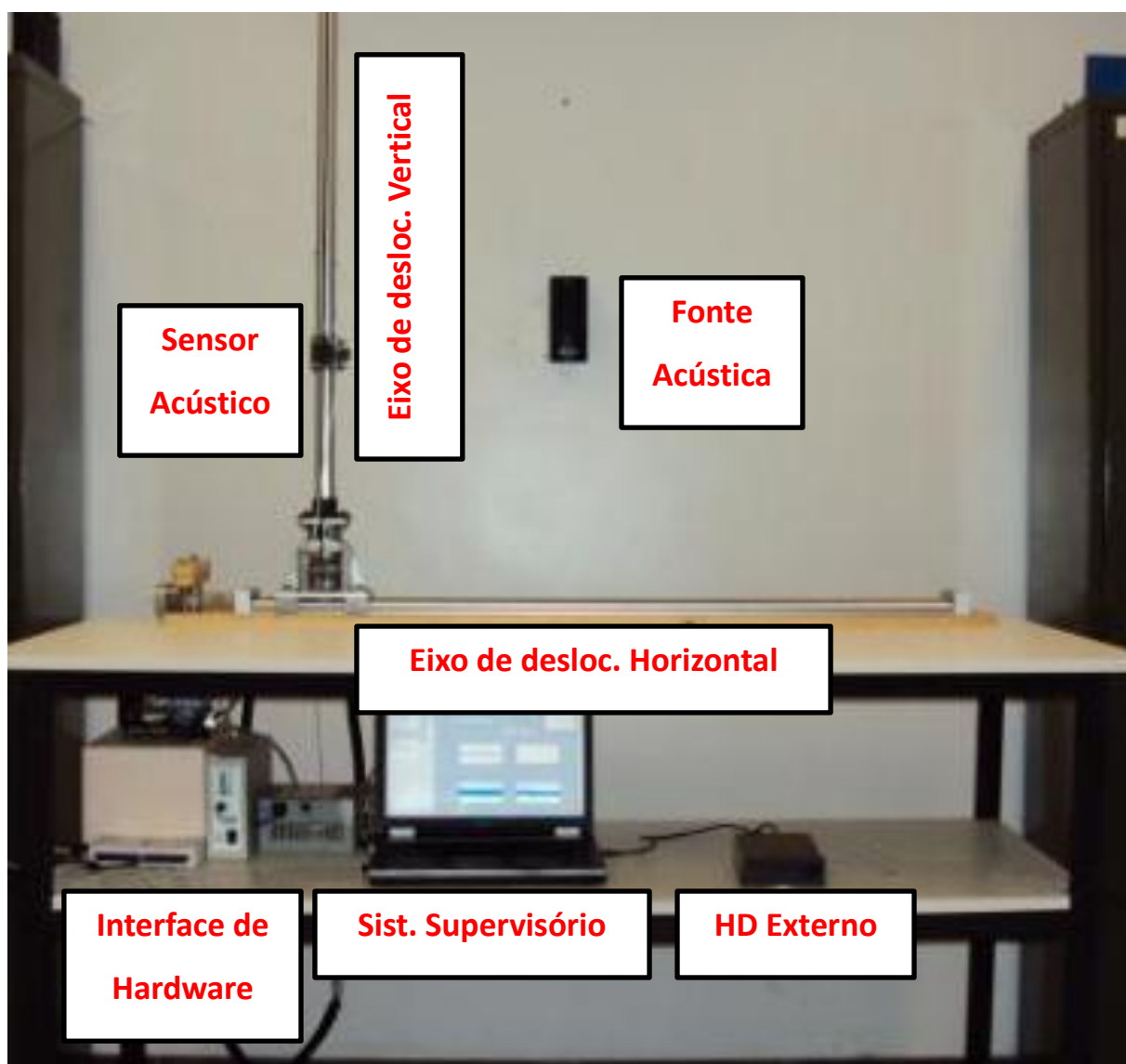


FIGURA 3.34 - Protótipo de Medição Acústica em Ensaio de Validação Experimental

Após o ensaio inicial, os testes foram repetidos para diferentes frequências e para combinação de duas fontes ativas simultaneamente em posições distintas. Os resultados serão apresentados no tópico de “Resultados e Discussão”.

3.12 Configuração de Acesso Remoto

Para dar maior mobilidade ao pesquisador que realiza os ensaios, uma ferramenta de acesso remoto foi adicionada ao servidor onde está instalado o sistema supervisorio.

O pré-requisito para utilização do software de acesso remoto é que o servidor seja compatível com programas em Java e que possua acesso à internet com endereço de IP fixo.

Dentre os softwares de acesso remoto (como Remote Desktop Connection from Windows, Team Viewer, VNC) o escolhido foi o JM2PC por ser um software de código aberto, de distribuição livre e por ser compatível com sistemas operacionais portáteis baseados em Java, como os utilizados em smartphones.

Para funcionamento do acesso remoto, inicialmente é preciso uma conexão de acesso a internet, como por exemplo, mas não unicamente, as disponibilizadas através das operadoras de telefonia móvel. A FIG. 3.35 apresenta o módulo de conexão 3G disponibilizado pela operadora Claro.

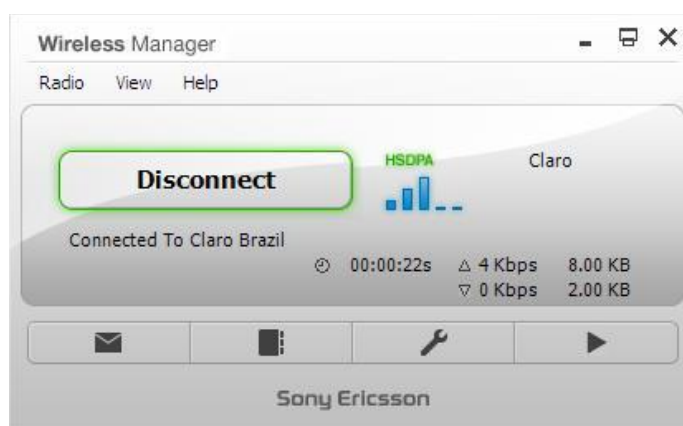


FIGURA 3.35 - Conexão de Acesso 3G a Internet

Depois de estabelecida a conexão a internet, as configurações de rede devem ser verificadas para confirmação do número de IP do servidor. Esta informação é obtida através da janela de conexão local, como apresentado na FIG. 3.36.

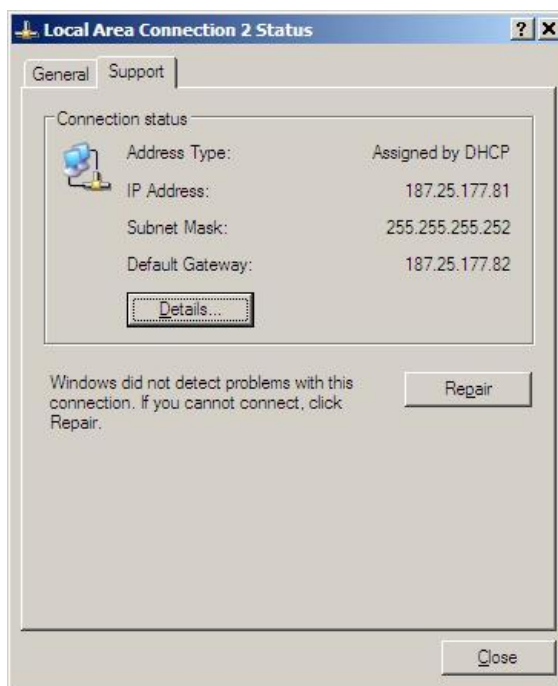


FIGURA 3.36 - Configuração de Conexão Local

Como último passo para configuração do servidor, informações de senha de acesso, porta de acesso e tipo de conexão são definidas no software JM2PC, apresentado na FIG. 3.37 e o sistema está pronto para ser acessado remotamente por dispositivos móveis.

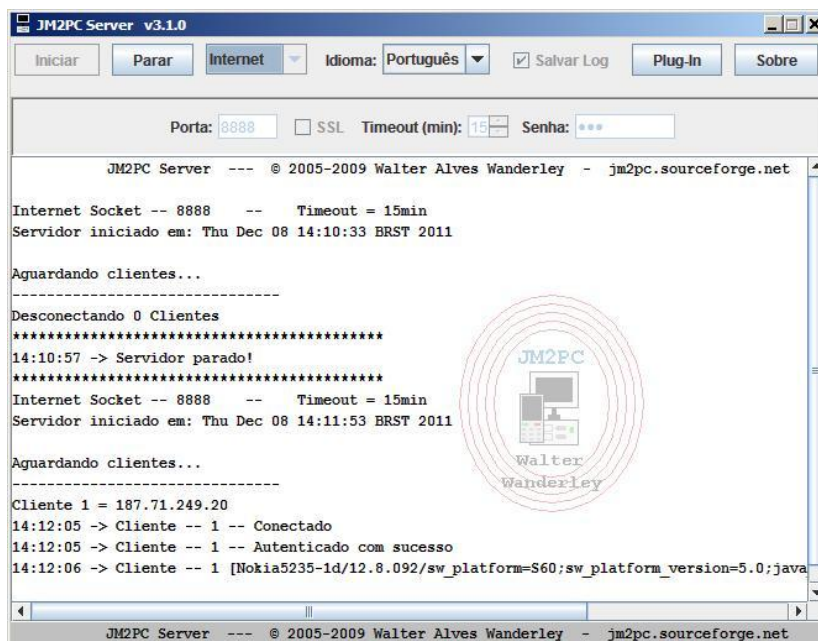


FIGURA 3.37 - JM2PC Server Software

As FIG. 3.38A e 3.38B apresentam o sistema depois de configurado, mostrando simultaneamente o servidor onde está instalado o sistema supervisorio, bem como o dispositivo móvel utilizado para acesso. Para validação da metodologia de acesso remoto, o protótipo de aquisição de sinais acústicos em malha bidimensional foi ativado remotamente duas vezes em dias diferentes (uma vez em cada dia da validação experimental), tendo resultado positivo de acionamento.

O software de acesso permite, além da visualização da tela do servidor onde está instalado o sistema supervisorio, o acesso remoto a todas as funções do protótipo, como entrada de parâmetros de aquisição, inicialização do processo de coleta de dados e visualização dos dados adquiridos, ou seja, acesso completo ao protótipo de aquisição.

O maior inconveniente deste modo de operação é imagem reduzida, já que a tela do smartphone é menor do que do servidor de acesso e atualização lenta (limitada a velocidade de conexão) da visualização dos dados adquiridos.

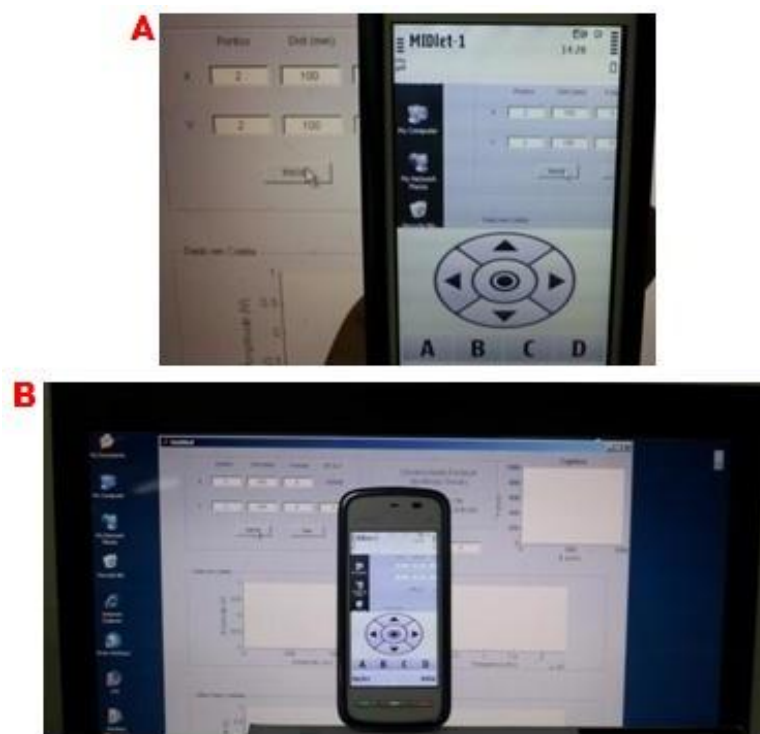


FIGURA 3.38 - Acesso Remoto ao Sistema Supervisório

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre os objetivos propostos observa-se pelas FIG. 3.34 bem como pelo detalhamento dos tópicos 3.7 e 3.11, que tanto o sistema de posicionamento bidimensional quanto o protótipo para medições acústicas foram fabricados, inclusive com tecnologia adicional de acesso remoto conforme descrição realizada no tópico 3.12.

Para melhor entendimento da análise dos resultados, este capítulo será dividido em dois tópicos. O primeiro relacionado com a validação metrológica do módulo de posicionamento e o segundo com a validação experimental do protótipo de medição acústica.

4.1 Validação Metrológica Experimental

Os resultados de validação metrológica indicam um aumento do erro de posicionamento relacionado a posições mais distantes da origem, independente do valor de incremento utilizado para a movimentação. Esta característica pode ser observada pelos gráficos GRA. (4.1) e GRA. (4.2) que apresentam dados do mesmo trajeto de deslocamento, no entanto, utilizando incrementos de movimento de 10 e 50mm respectivamente.

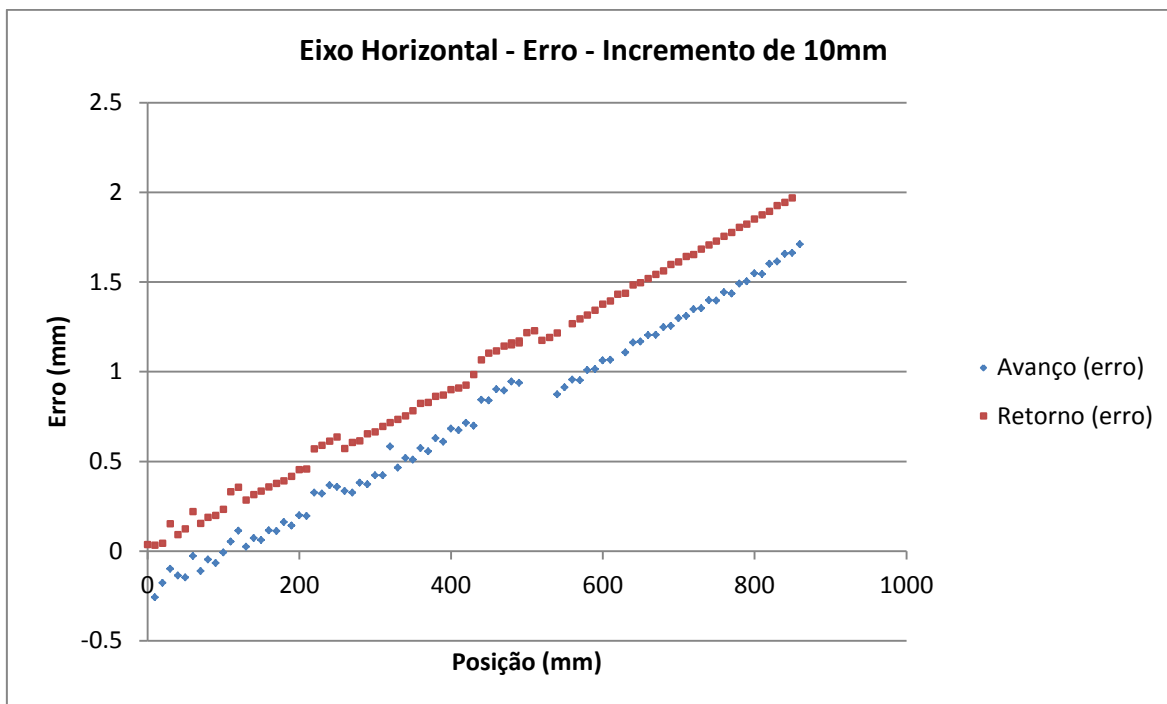


GRÁFICO 4.1 - Movimentação Horizontal com Incremento de 10mm

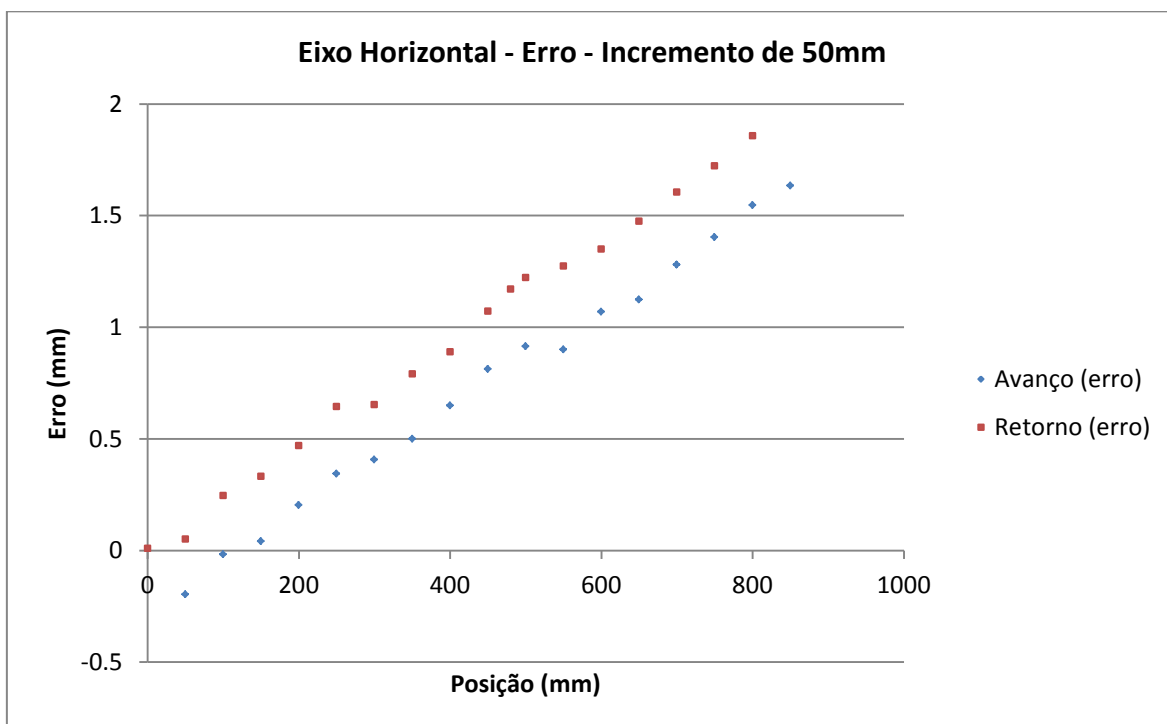


GRÁFICO 4.2 - Movimentação Horizontal com Incremento de 50mm

Tanto no GRA (4.1) quanto no GRA (4.2), além do erro crescente com a distância da origem, observa-se alguns pontos de descontinuidade no comportamento deste erro,

como ocorre por exemplo na proximidade das posições 120, 250 e 500mm. Observando a montagem, constatou-se que este comportamento, é causado por segmentos oxidados no fuso de transmissão.

O GRA. (4.3) apresenta os dados coletados, com incrementos de 10, 20, 30, 40 e 50mm, ao longo do trajeto horizontal, sendo possível, observar que o incremento do erro com a distância segue um padrão de crescimento linear. Ressalta-se ainda que devido a histerese mecânica, folgas e afins, existe um erro de *offset*, responsável por erro diferente em caso de posicionamento de avanço (representado pelos pontos azuis no gráfico) e de retorno (representado pelos pontos vermelhos no gráfico).

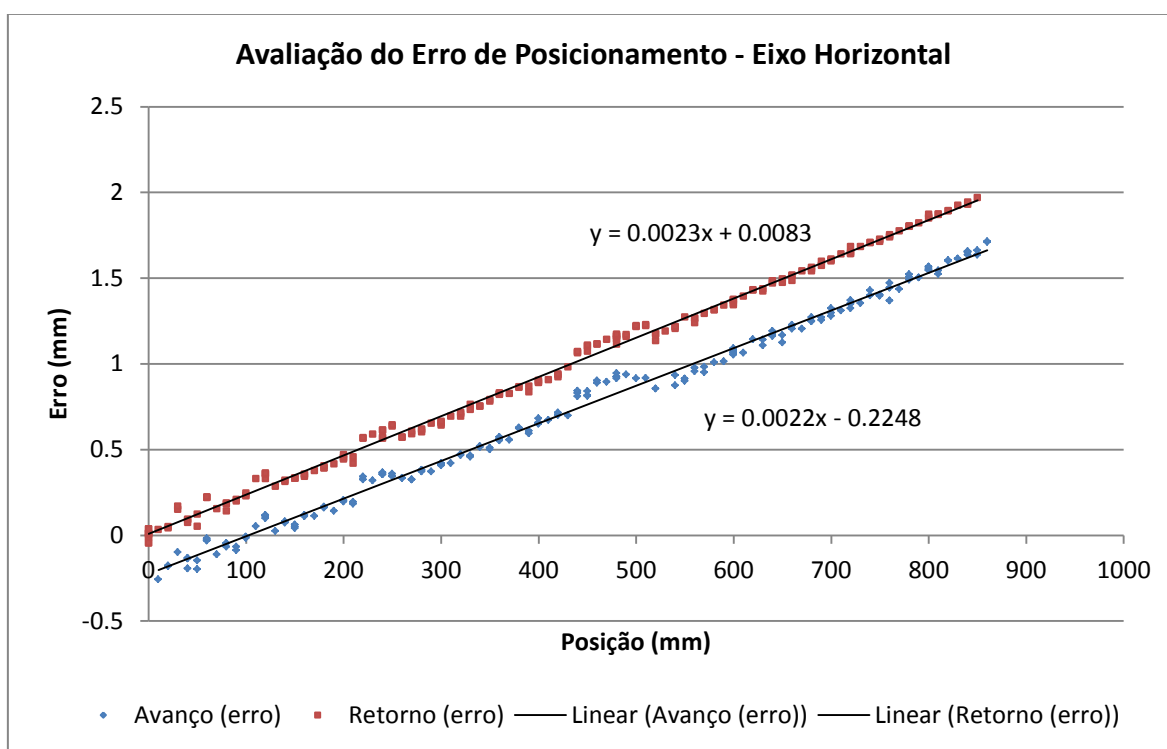


GRÁFICO 4.3 - Erro de Posicionamento Horizontal

Conforme detalhamento apresentado no capítulo 3.9, a frequência mais alta a ser medida será de 10kHz e, visto que a velocidade de propagação de onda no ar é de aproximadamente 350.000mm/s, conclui-se que o menor comprimento de onda a ser medido será de 35mm, portanto, nenhum fator de correção foi aplicado à equação de deslocamento do módulo de posicionamento (já que o erro máximo de 2mm, é menor do que 17x o comprimento de onda a ser medido). Ressalta-se no entanto, que para aplicações de maior precisão, o erro total de deslocamento horizontal poderia ser diminuído para casa

dos décimos de milímetro caso as equações das curvas de tendência do GRA. (4.3) fossem utilizadas.

O GRA. (4.4) apresenta o comportamento dos dados cotados caso a curvas de tendência de avanço e retorno do eixo horizontal fossem utilizadas.

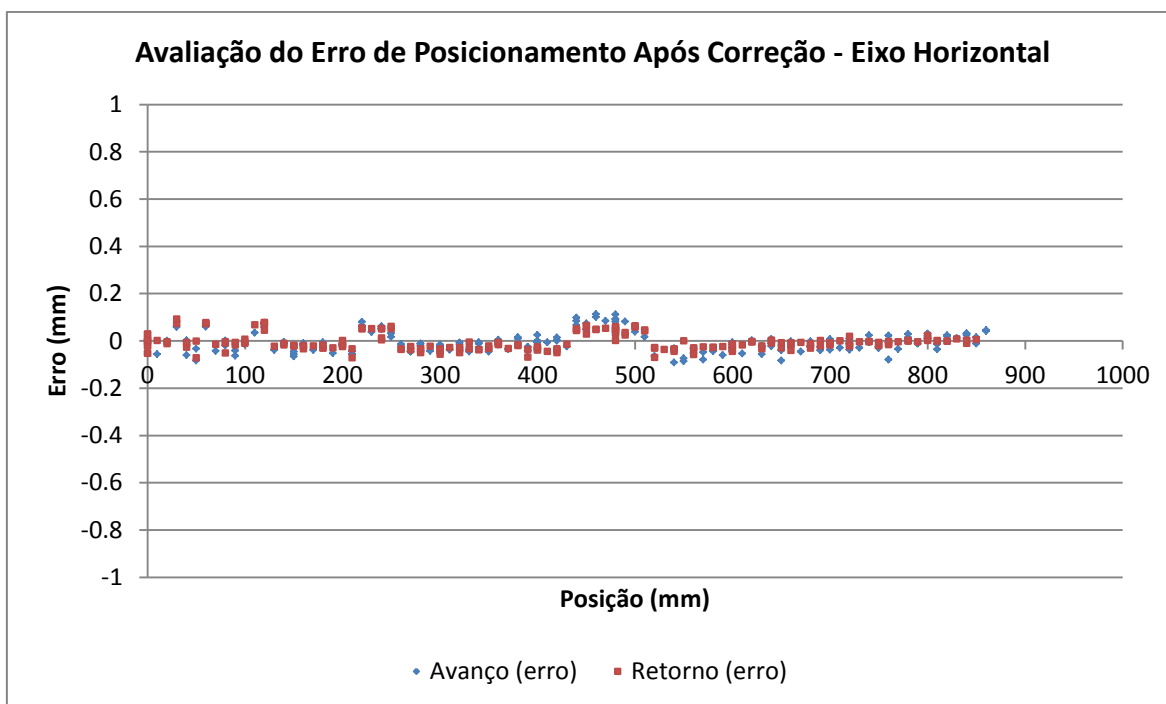


GRÁFICO 4.4 - Avaliação do Erro Horizontal Após Correção

Após análise de dados referente ao eixo horizontal, o mesmo processo avaliativo foi realizado para o eixo vertical. O GRA. (4.5) apresenta o comportamento do erro ao longo do deslocamento vertical e o GRA. (4.6) apresenta o erro caso as equações de tendência das curvas de avanço e retorno fossem aplicadas.

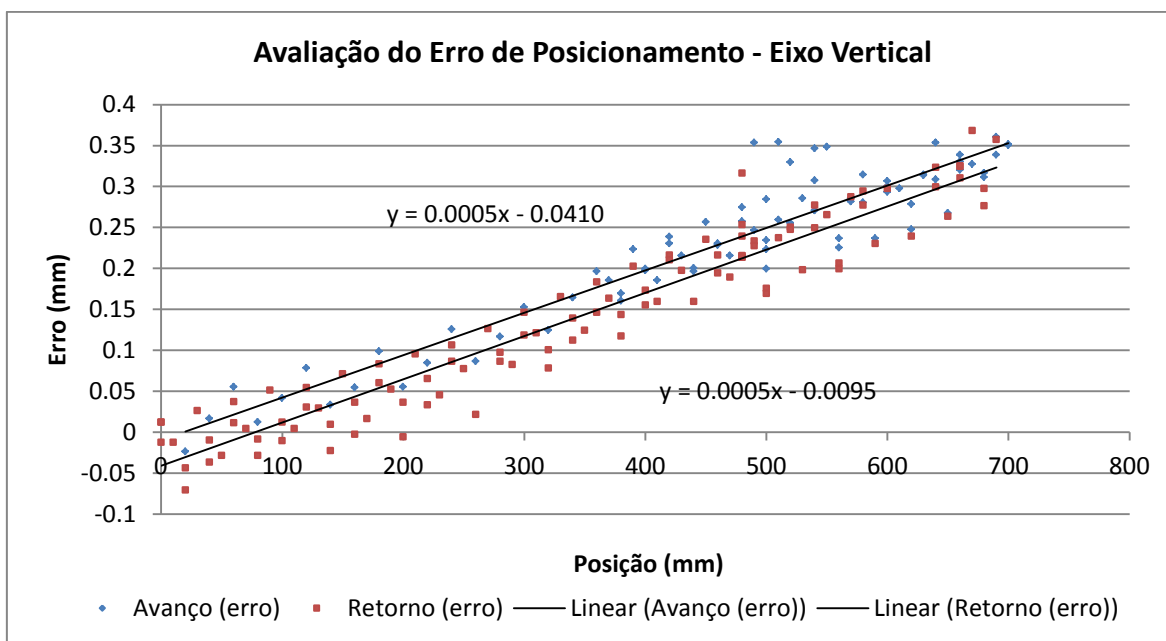


GRÁFICO 4.5 - Erro de Posicionamento Vertical

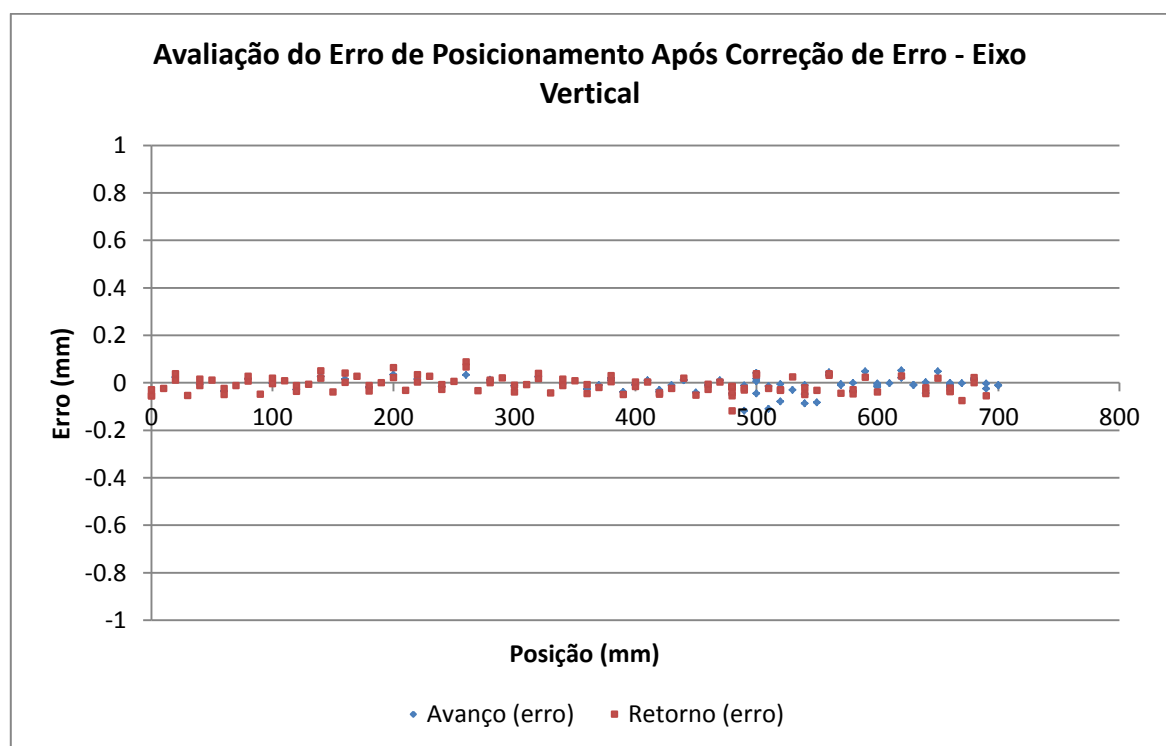


GRÁFICO 4.6 - Avaliação do Erro Vertical após Equação de Correção

4.1 Validação Experimental do Protótipo de Medição Acústica

A validação experimental do protótipo de medição, descrita no tópico 3.11, foi realizada utilizando o sistema supervisorio desenvolvido ao longo do trabalho e apresentado na FIG. 4.1. Nesta figura a janela superior contém em 1 os parâmetros de medição, em 2 a posição atual do sistema e em 3 a trajetória percorrida pelo sensor. Nesta etapa é importante observar que somente a área 1 (entrada de parâmetros) da FIG. 4.1 precisa ser preenchida (inclusive pode ser preenchida por acesso remoto como descrito no tópico 3.12), os demais campos serão atualizados automaticamente com o transcorrer da aquisição. A FIG. 4.1 possui ainda uma janela na posição inferior, onde os dados coletados no tempo (4), bem como sua transformada de Fourier (5) são apresentados.

Ressalta-se que os pontos definidos para coleta de dados são calculados automaticamente pelo sistema supervisorio a partir dos parâmetros de posição inicial X e Y, número de pontos em X, número de pontos em Y, distância entre pontos em X e distância entre pontos em Y.

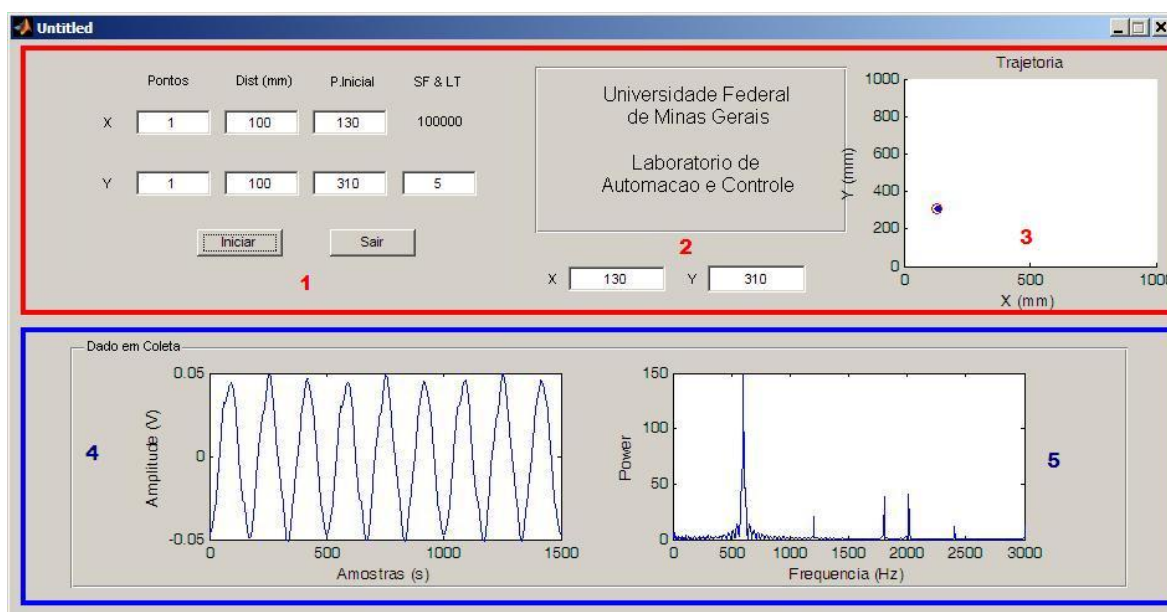


FIGURA 4.1 - Sistema Supervisorio

Após a coleta e apresentação gráfica de cada ponto no sistema supervisorio, os dados são exportados para um arquivo de formato ASCII que pode ser lido por programas diversos com Excel, Surfer, Matlab, entre outros. O nome de cada arquivo é definido pela

posição de coleta do dado, sendo os três primeiros dígitos referentes a coordenada X e os três últimos dígitos referentes a coordenada Y, por exemplo, na simulação mostrada na FIG. 4.1 seria criado um arquivo [130 310].

Internamente os arquivos possuem uma organização, onde a primeira linha representa a posição do dado coletado, a primeira coluna representa o momento da coleta da amostras e a segunda coluna o valor da amostra.

O primeiro ensaio válido foi realizado no dia 26/11, utilizando dois geradores de sinais e duas fontes acústicas independentes, sendo a primeira excitada com um sinal de 600Hz e a segunda com um sinal de 2000Hz. As fontes foram respectivamente fixadas nas posições (X150,Y310) e (X480,Y310) do painel de medição.

O ensaio coletou 336 pontos (totalizando 5.32Gigabytes de dados) e a parametrização de aquisição foi de:

Posição inicial X = 100mm

Posição inicial Y = 100mm

Número de pontos em X = 28

Número de pontos em Y = 12

Distância entre pontos em X = 25mm

Distância entre pontos em Y = 50mm

Tempo de Registro = 5 segundos

A FIG. 4.2A apresenta o sistema supervisor com os parâmetros de coleta em 1, bem como a trajetória percorrida (representada pelos pontos azuis) e os pontos adquiridos (representados pelos círculos vermelhos) em 3. A FIG4.2B apresenta, o local geométrico das medições realizadas pelo sistema.

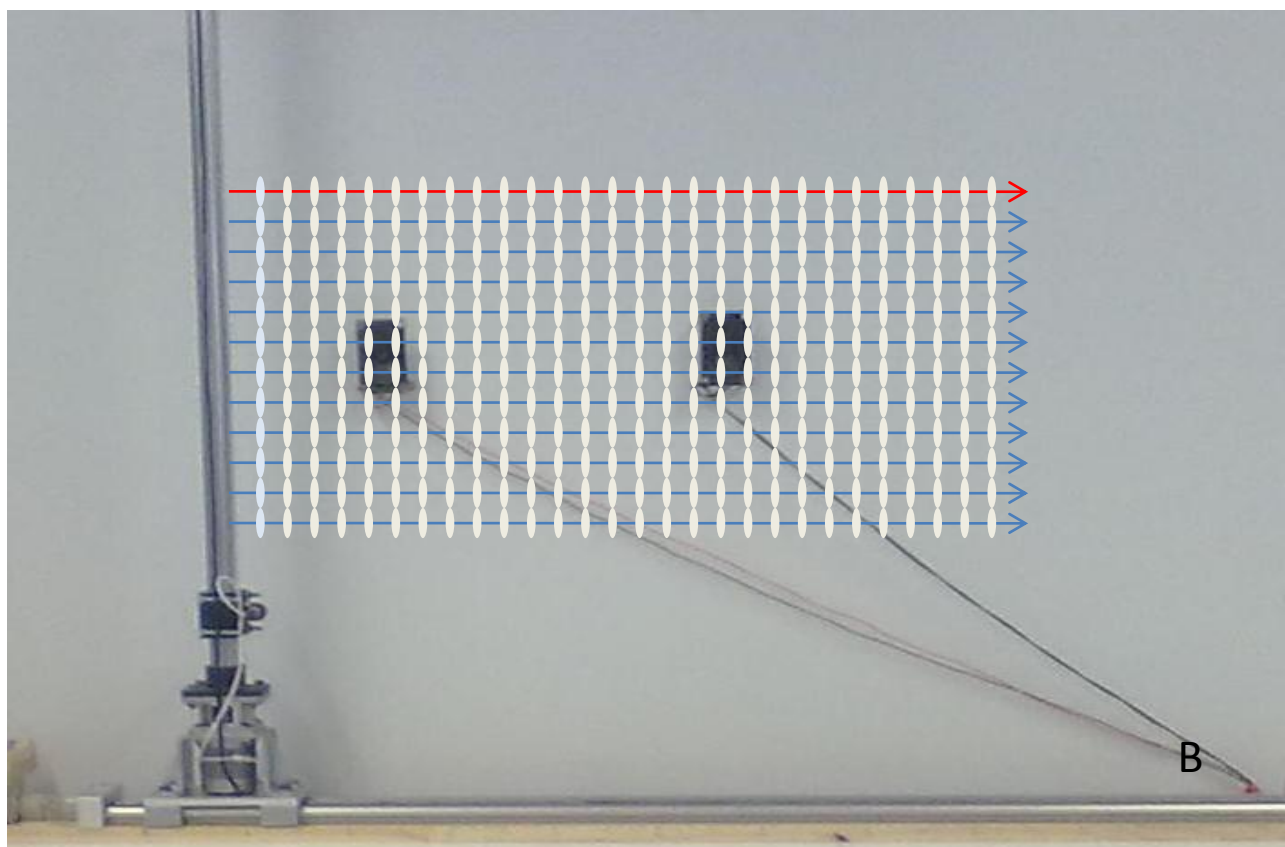
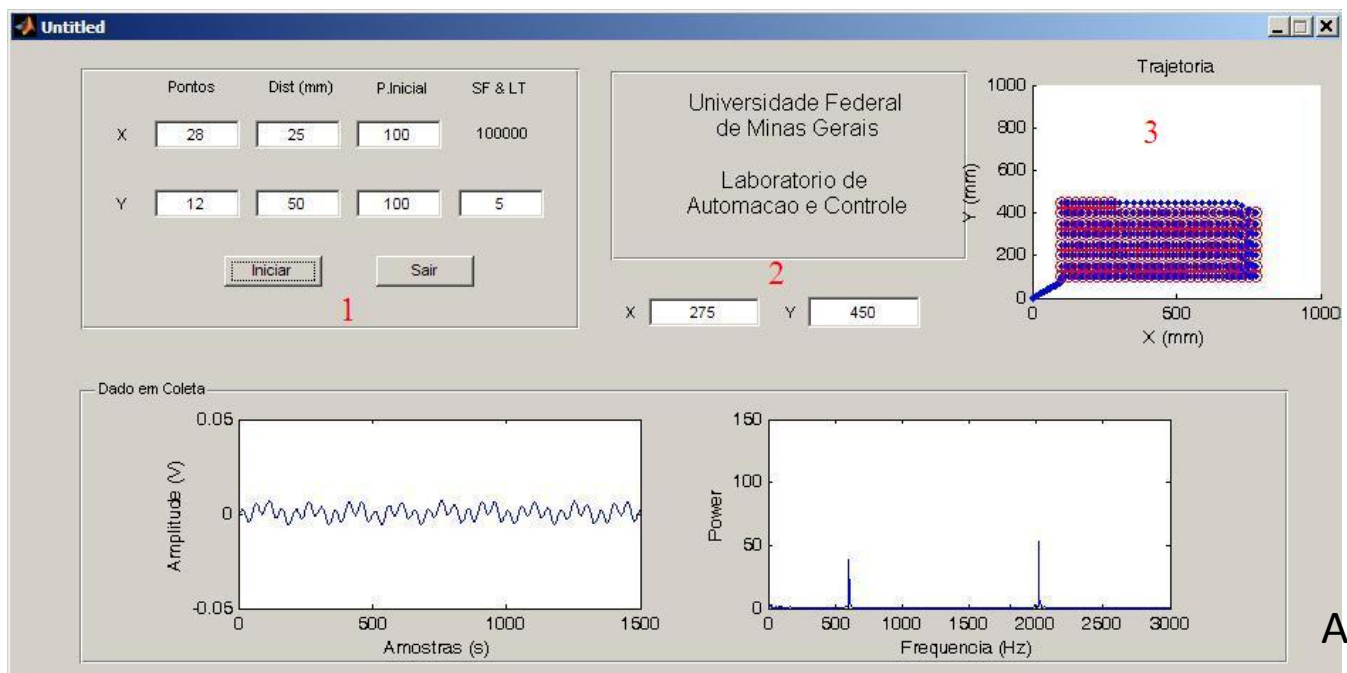


FIGURA 4.2 - Ensaio 1: Parâmetros de Aquisição e Geometria Física de Aquisição

Depois de coletados, os dados gravados (nomeados automaticamente com as coordenadas de aquisição [100 100], [100 125], ..., [775 650]) foram importados pelo software Matlab para cálculo da transformada de Fourier (através da rotina apresentada no Anexo X) e plotados no software Surfer.

Na FIG. 4.3, onde são apresentados os dados coletados durante o ensaio, é possível observar uma maior intensidade sonora nos pontos onde estão localizadas as caixas de som.

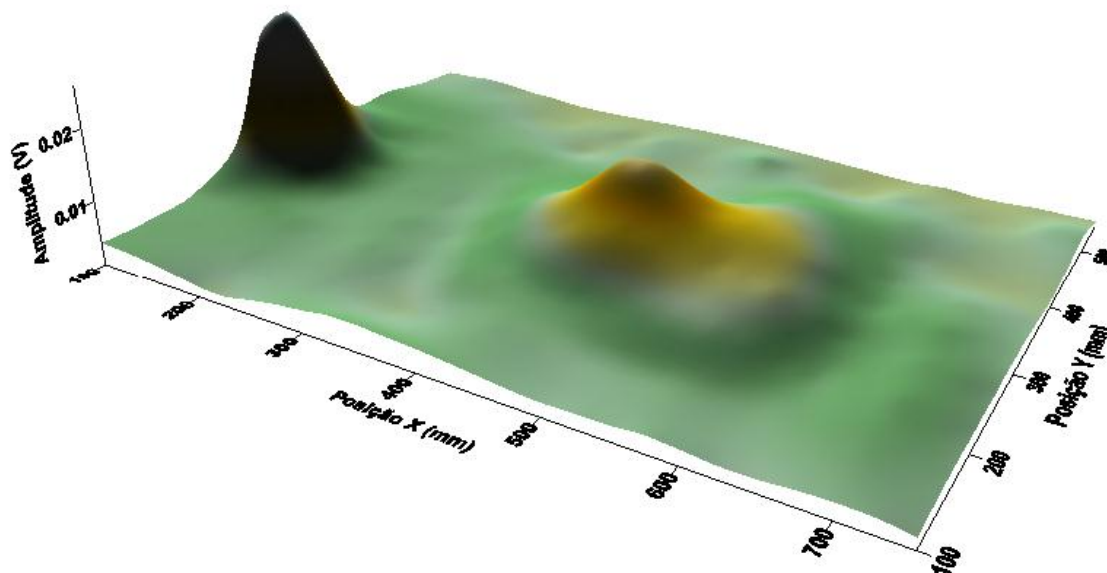


FIGURA 4.3 - Ensaio 1: Medida no Tempo

A FIG. 4.4 apresenta os dados na faixa de 0 a 1500Hz após a aplicação da Transformada de Fourier, onde o eixo Z representa a média dos valores após a transformada de Fourier (sendo Power DFT a raiz quadrada da somatória entre a parte imaginária ao quadrado e a parte real ao quadrado), nesta figura é possível observar que, como esperado, a segunda fonte sonora (de 2000Hz) não é representada.

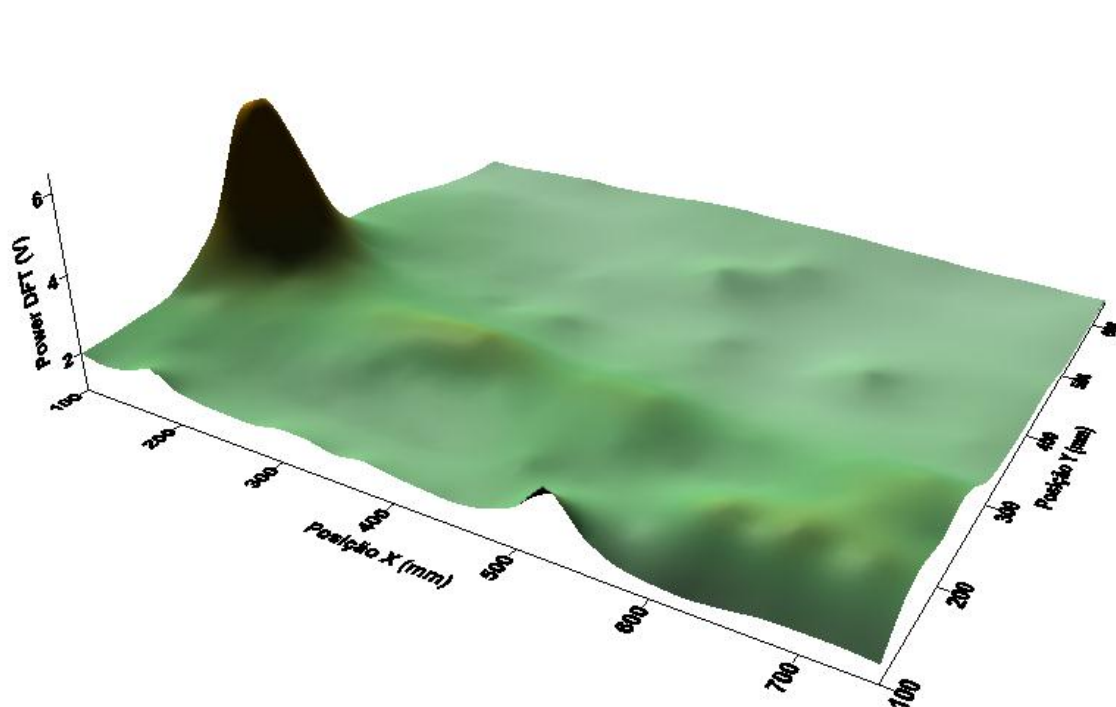


FIGURA 4.4 - Ensaio 1: Frequências de 0 a 1500Hz

Repetindo o mesmo procedimento aplicado na FIG. 4.3 para a faixa de 1500Hz a 3000Hz, é possível observar na FIG. 4.5 a fonte de 2000Hz. Como era esperado a fonte de 600Hz não aparece na imagem.

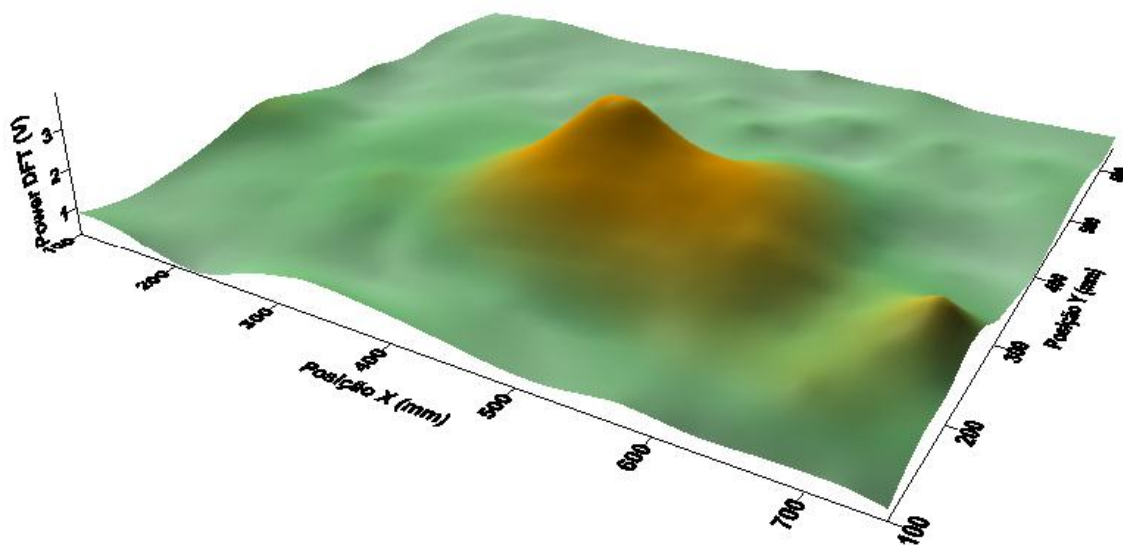


FIGURA 4.5 - Ensaio 1: Frequência de 1500Hz a 3000Hz

Após o primeiro ensaio, um segundo ensaio de contra prova foi realizado no dia 27/11. As FIG. 4.6, FIG. 4.7 e FIG. 4.8, apresentam respectivamente o valor da medição no tempo, os dados na faixa de frequência de 0 a 1500Hz e os dados na faixa de frequência de 1500 a 3000Hz. Como era esperado, observa-se que houve coerência entre os dados adquiridos no dia 26 e 27/11.

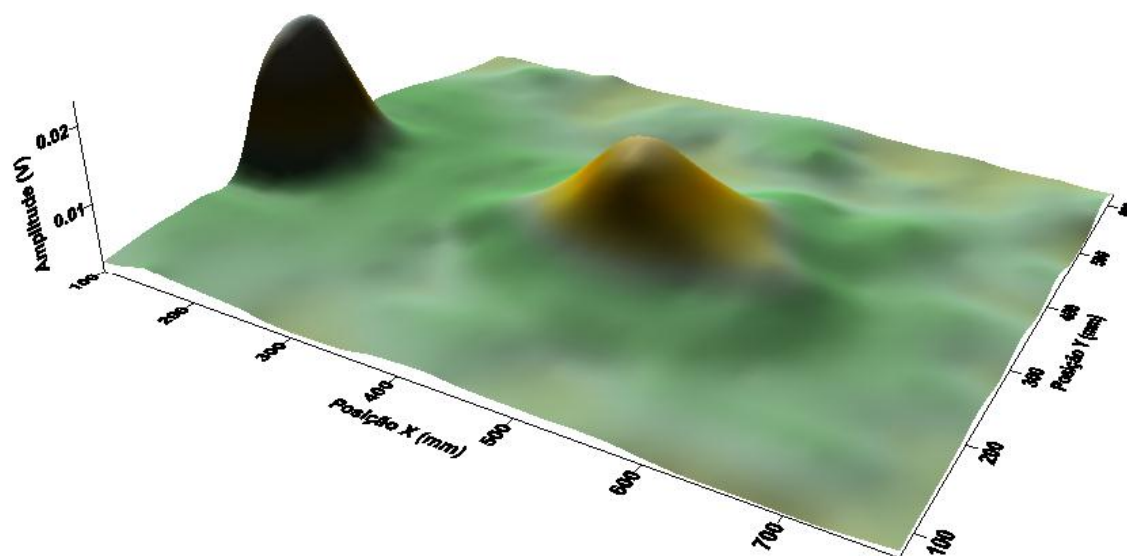


FIGURA 4.6 - Ensaio 2: Medida no Tempo

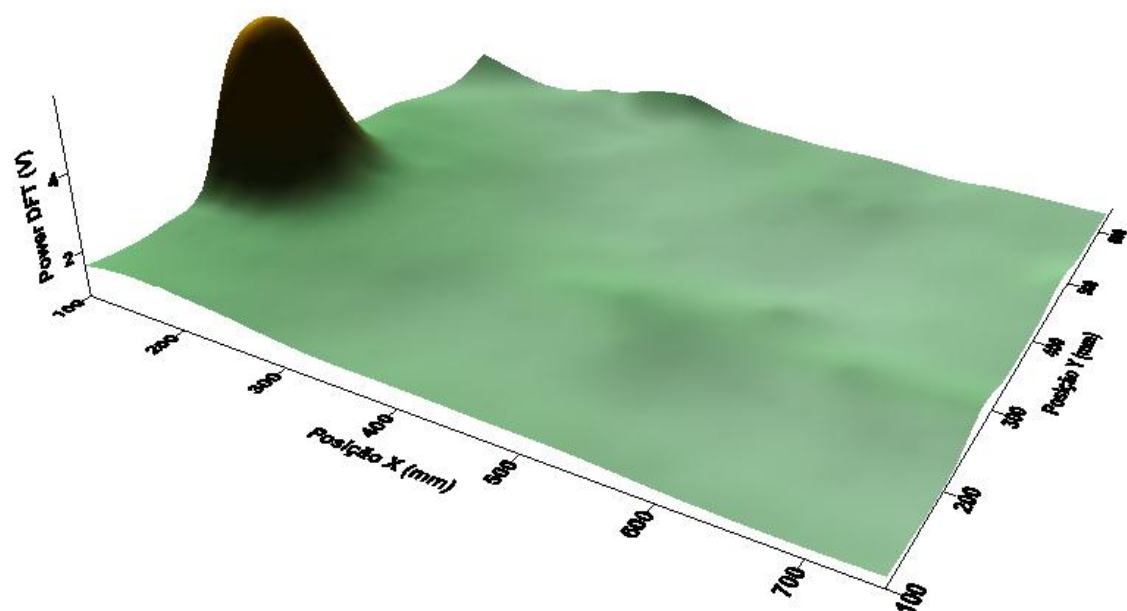


FIGURA 4.7 - Ensaio 2: Frequências de 0 a 1500Hz

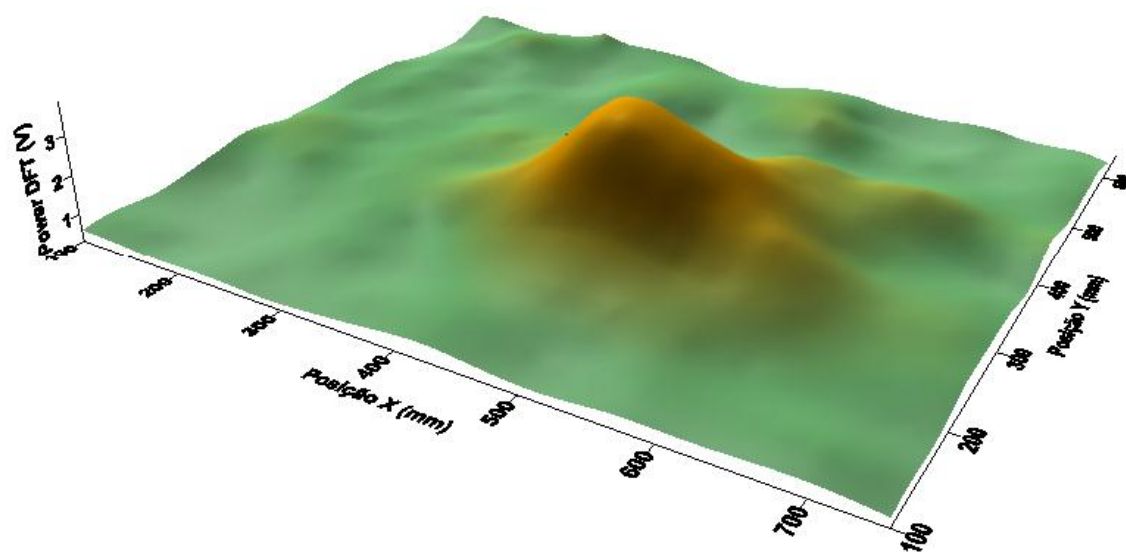


FIGURA 4.8 - Ensaio 2: Frequências de 1500Hz a 3000Hz

5 CONCLUSÃO

Um protótipo mecânico para um sistema de posicionamento bi-dimensional foi fabricado e validado metrologicamente, apresentando baixo erro de posicionamento tanto em movimentações horizontais (erro menor que 2mm) quanto para posicionamento vertical (erro menor que 0.5mm).

A validação metrológica possibilitou o conhecimento de como o erro de posicionamento se desenvolve ao longo do curso horizontal e vertical, permitindo aplicação de ajuste e correção caso o módulo seja utilizado em atividades de maior precisão.

Ressalta-se neste ponto que a construção do protótipo foi feita de maneira modular, onde o módulo de posicionamento pode ser utilizado de maneira independente, em aplicações diversas, requisitando apenas opção de comunicação serial RS232 para envio e recebimento de informações.

O sistema supervisor foi desenvolvido com uma interface gráfica amigável e intuitiva, que além da entrada de parâmetros permite a visualização em tempo real do dado amostrado. Adicionalmente um software de acesso remoto foi instalado ao servidor que gerencia o sistema supervisor, possibilitando o controle do protótipo de medição acústica remotamente, inclusive por dispositivo móvel como smartphones.

A interface gráfica amigável em conjunto com a possibilidade de acesso remoto, trazem grande ganho ao pesquisador, pois permitem a rápida aquisição de dados (com pouco ou nenhum treinamento operacional) e o monitoramento do processo a qualquer instante.

Por fim, o protótipo do sistema automatizado de aquisição acústica em superfície apresentou resposta positiva, tendo demonstrado coerência nas informações de prova e contra-prova apresentados no capítulo de “Resultados e Discussão” e realizado de maneira completamente independente a coleta de 672 dados, totalizando volume superior a 10 gigabytes de informações registradas.

Embora muitas melhorias ainda possam ser realizadas no sistema, como as descritas no tópico “Sugestões para Trabalhos Futuros”, os objetivos propostos foram alcançados.

ABSTRACT

The manual data collection is a process with limited repeatability and, often full time, depends on a performer of the experiment available. The need for automation of a manual data collection system increases, as the number of data to be acquired become larger or, when the executer of the experiment reaches its threshold, not being available to collect all the necessary data. This work will present the development of an automated data acquisition system for performing acoustic measurements in a bi-dimensional mesh to research the acoustic characteristics of a given material or area. For project execution, the work was divided into three main separate parts. The first part was the assemble of a mechanical displacement system (where the measurement sound sensors was attached) using trapezoidal screws, step motors and rectilinear guides. In the second part of the project, the electronics interface for the motion control and data collection was developed, comprising converters, amplifiers and the communication interface with the supervisory system. In the third and last part, was developed the control software for the survey device and for the signal processing interface. The Matlab software used to do the necessary mathematical implementation and to develop a graphical interface where the options are presented for collecting data. During the three steps all the assembly processes are detailed, the positioning module is metrological tested, presenting the correction equations for positioning, and the final prototype is experimentally tested. Finally all the results of the automatic data collection capacity are presented and compared.

Key words: Automatic measurement, electronic controller, acoustic survey.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Durante o desenvolvimento do trabalho alguns pontos adicionais foram observados, no entanto, por indisponibilidade ferramental e/ou tempo hábil não puderam ser realizadas. Como sugestões para projetos futuros ficam os seguintes pontos:

- Revalidar metrologicamente o módulo de posicionamento após utilização das equações de correção.
- Desenvolver uma interface adicional de pré-processamento com opção de gravação de dados janelados e faixas específicas de frequência.
- Desenvolver uma interface adicional de pós-processamento e apresentação de dados, com diferentes modelos de interpolação, filtros e gráficos de visualização.
- Adicionar um terceiro eixo ao sistema permitindo desta maneira o mapeamento nas três coordenadas volumétricas.
- Adição de câmeras de rede ao sistema supervisorio para monitoramento físico do andamento das medições. O que permitiria que o protótipo, além de controlado remotamente, pudesse ser fisicamente monitorado de qualquer local.
- Instalação de módulo de controle de fonte acústica ao sistema supervisorio para variação automática de intensidade e frequência em ensaios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN BRADLEY. **Capacitive Proximity Sensor**, 2011. Disponível em <http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/ca/c116-ca504_-en-p.pdf>. Acesso em 19 setembro 2011

ALLEN BRADLEY. **Inductive Proximity Sensor**, 2011. Disponível em: <http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/ca/c116-ca502_-en-p.pdf>. Acesso em 19 setembro 2011

ALLEN BRADLEY. **Ultrasonic Proximity Sensor**, 2011. Disponível em: <http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/ca/c116-ca503_-en-p.pdf>. Acesso em 19 setembro 2011

ARRUDA, J.R.F., Ferramentas Teóricas e Experimentais em Vibroacústica. **Acústica & Vibrações**, Florianópolis, n.32, p.20-27, Dezembro, 2003.

ARRUDA, J.R.F., GAUTIER, F.; RENGIER, M.; LE CARROW, J.L.; GILBERT, J. Investigação Experimental da Direcionalidade Sonora de uma Harpa de Concerto. **Acústica & Vibrações**, Florianópolis, n.36, p.03-09, Dezembro, 2005.

AVIZ, Jose T. **Projeto e Construção de Câmaras Reverberantes em Escala Reduzida para o Estudo das Características de Perda de Transmissão de Divisórias Confeccionadas a partir de Materiais Regionais**. Dissertação (Mestrado – Vibrações e Acústica), Universidade Federal do Pará, Belém, 2006.

BRANDÃO, E., LENZI, A., Uma Revisão Sobre os Métodos de Medição in Situ da Impedância Acústica de Superfície. **Acústica & Vibrações**, Florianópolis, n.41, p.03-12, Maio, 2010.

BRITES, Felipe G., SANTOS, Vinicius P. A., **Motor de Passo**, Universidade Federal Fluminense, Niteroi, 2008, 15p.

D'AZZO, John J., HOUPIS, **Constantine H.** **Linear Control System Analysis and Design**, New York: McGraw-Hill, 1981, 751p.

DONADON, L. V., SIVIERIO, D.A., PASQUAL, A.M., Arruda, J.R.F.. Determinação Experimental da Perda de Transmissão Sonora em Painéis. In: **XXII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica (SOBRAC)**, 2008.

FIGLIOLA, Richard S., BEASLEY, Donald E. **Teoria e Projeto para Medições Mecânicas**, 4 ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2007, 466p.

GARCIA, Daniela B., VECCI, Marco A. M., RODRIGUES, Francisco C.. Avaliação de Isolamento Sonoro Aéreo de Elementos de Vedação na Construção Civil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p.49-63, jan./mar. 2008.

GONÇALVES, Armando A., **Metrologia Parte I**, Lab/Metro, Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, 2002, 159p.

HONDA, Flavio, **Motores de Corrente Continua**, Siemens, 2006. Disponível em: < www.siemens.com.br/medias/FILES/2910_20060505141908.pdf>. Acesso em: 19 setembro 2011.

IGUS, Catalogo DryLin, 2011. Disponível em < <http://www.igus.com.br> >. Acesso em 19 setembro 2011.

JUBIO, Juan C. C., **Introdução a Engenharia de Precisão: Projeto Fabricação de Precisão**, Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais, 2010, 32p.

KRUSZIELSKI, L.F.; COELHO, R.S.; ZANNIN, P.H.T., A. Avaliação Acústica da Sala de Gravação do Estúdio de Áudio do Departamento de Artes da Universidade Federal do Paraná. **Acústica & Vibrações**, Florianópolis, n.39, p.12-22, Maio, 2008.

LASMAR, Douglas Iceri. **Utilizacao do Microcontrolador PIC18f452 para Automacao de uma Mesa Posicionadora**, 2007. Monografia (Graduação – Mecatrônica), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

LASMAR, Douglas I., GILVA, Altair R. J., MAIA, Antônio A. T., GALVEZ, José M. Sistema Digital de Controle em Mesa de Posicionamento. **C&I Controle & Instrumentação**, São Paulo, v.13, n.162, p.66-71, novembro, 2010

LASMAR, Douglas I., SALOMÉ, Alisson F., MAIA, Antônio A. T., GILVA, Altair R. J., RUBIO, Juan C.. Validação Metrológica Experimental de Sistema de Posicionamento Automatizado. **C&I Controle & Instrumentação**, São Paulo, v.13, n.163, p.64-70, dezembro, 2010

MICROCHIP, Technology Inc. PIC18FXX2 Data Sheet – High Performance, Enhanced FLASH, Microcontrollers with 10 Bits A/D, 2002, 330p.

NATIONAL INSTRUMENTS, DAQ M Series – NI USB-621x User Manual – Bus Powered M Series USB Devices, 2007, 185p.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de Controle Moderno**, 4. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2003, 788p.

PAIXÃO, Dinara X., GERGES, Samir N. Y., Perda de Transmissão Sonora em Paredes de Alvenaria de Tijolo Maciço Cerâmico. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 4, n. 2, p.95-110, jul./set. 2004.

PATANÉ, Edson J., **Implementação de Controle de Velocidade em Malha Fechada Para Motores de Corrente Contínua Utilizando Sistema de Aquisição de Dados**. Dissertação (Mestrado – Análise e Controle de Processos Químicos), Centro Universitario do Instituto Mauá de Tecnologia, 2008.

PCB PIEZOTRONICS, **Microphone Handbook**. Disponível em <www.pcb.com/linked_documents/vibration/microphone_handbook.pdf>. Acesso em 19 de setembro de 2011.

PEREIRA, Fernando Reisz. Quarta Científica, **Automação e Sociedade**. Nova Friburgo, UERJ, 2005 apud LASMAR, Douglas Iceri. Utilização do Microcontrolador PIC18f452 para Automação de uma Mesa Posicionadora, 2007.

PIO, Marcelo José. Cenários para o Setor de Automação Industrial (2010-2019). **C&I Controle & Instrumentação**, São Paulo, v.13, n.162, p.50-64, novembro, 2010

RAMALHO, Geber, GIOIA, Osman. **Microfones: Funcionamento e Características**. Universidade Federal de Pernambuco. Notas de Aula disponível em <www.di.ufpe.br/~musica/aulas/micro1.ppt>. Acesso em 19 de setembro de 2011.

RAO, Singiresu. **Vibrações Mecânicas**. 4.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009, 424p.

ROSÁRIO, João Maurício. **Princípios de Mecatrônica**. 1.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005, 356p.

SCHNEIDER, Paulo, **Incertezas de Medição e Ajuste de Dados**, Grupo de Estudos Térmicos e Energéticos, Porto Alegre, Universidade do Rio Grande do Sul, 2007, 24p.

SHIGLEY, Joseph E., MISCHKE, Charles R., BUDYNAS, Richard G. **Projeto de Engenharia Mecânica**, 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

SILVEIRA, Ricardo C. A. **Desenvolvimento de um Equipamento Mecânico com Controle Numérico Computadorizado para Produção de Protótipos em Escala**. Dissertação (Mestrado – Projeto Mecânico), Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

SOUZA, K., MASSARANI, P.M., NABUCO, M.. Avaliação do Desempenho Acústico de Cabinas Audiométricas in Situ. **Acústica & Vibrações**, Florianópolis, n.38, p.38-43, Março, 2007.

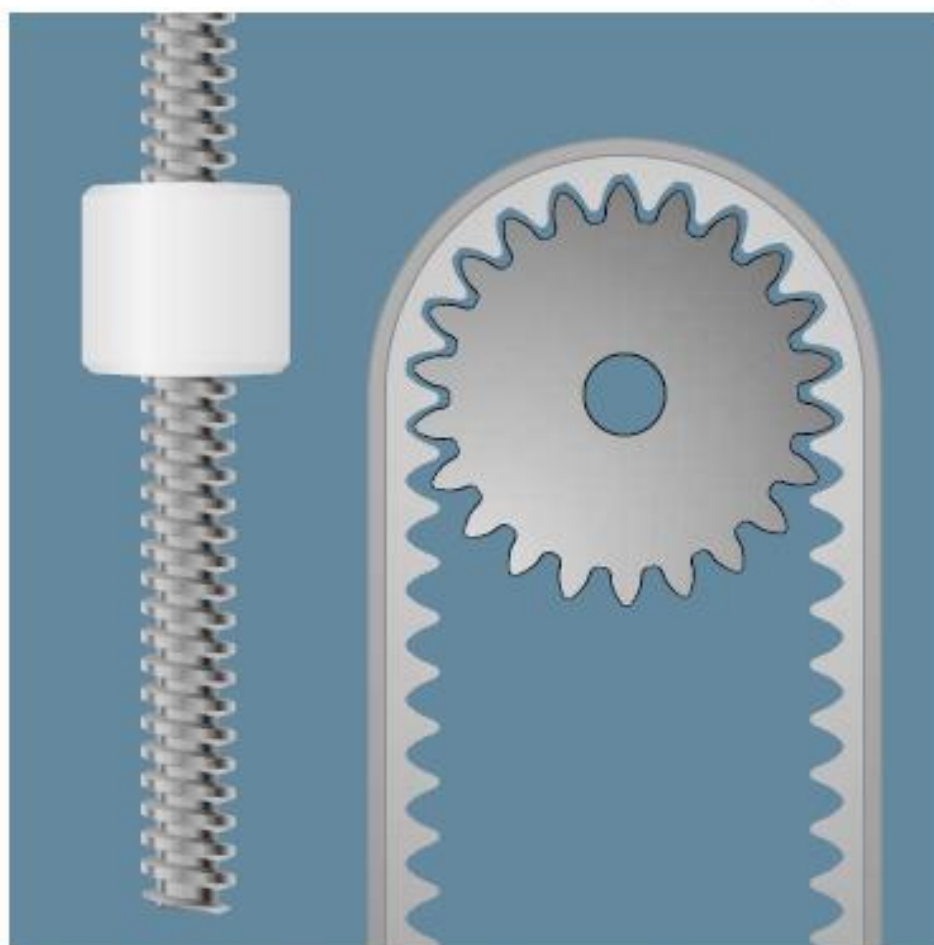
TESA, Technology, Coordinate Measuring Machines, 2011. Disponível <<http://www.microhite3dcmm.com/>>. Acesso em 19 de setembro de 2011

TOCCI, Ronald J., WIDMER, Neal S., **Sistemas Digitais – Princípios e Aplicações**, 7 ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2000, 588p.

WANG, Percy, DARREN, Hallman, BLOUGH, Jason, DUMBACHER, Susan, Source Identification Using Acoustic Array Techniques. **SAE Noise and Vibration Conference**, Traverse City, v. 2, p.1023-1025, Maio, 1995.

WEBSTER, John G. **The Measurement, Instrumentation and Sensor Handbook**, Boca Raton, CRC Press LLC, 1999, 2503p.

ANEXO I



DryLin®-Drive engineering



DryLin® SHT
► Page 65.2

DryLin® SHT-Linier slide table

ideal for:

- High loads and low speed
- Format adjustments and easy positioning



DryLin® ZLW
► Page 65.12

DryLin® ZLW-belt drive

ideal for:

- Small loads and high speed
- Quick positioning

for lower speed

also for high loads

low-priced, robust and compact

stationary by friction

quick handling

for lighter loads

cost-effective

corrosion resistant



DryLin®-Drive engineering

mm

Phone +49 - 22 03 - 96 49-145
Fax +49 - 22 03 - 96 49-334





mm

DryLin® SHT

Phone +49 - 22 03 - 96 49-145
Fax +49 - 22 03 - 96 49-334

iglus® GmbH
51147 Cologne

Internet www.igus.de
E-mail info@igus.de

65.2

Technical Data

Liner material:

- iglidur® J

Shaft materials:

- Anodized aluminium
- Case-hardened steel
- Stainless steel
- Carbon fibre*

Leadscrew materials:

- Steel
- Stainless steel
- Hard anodized aluminium

*on request



High dirt resistance



Cost-effective and reliable
at the same time



Modular design, allows
easy installation

DryLin® SHT – Linear Slide Tables

Dry running maintenance-free slide tables operate with iglidur bearings and are available in a wide variety of configurations, including various combinations of screw, housing and shaft materials, which allows you to implement low weight, low corrosion and low cost solutions.



Structure of the part number:

SHT - 12 - AWM - 150 - HR - ES

Spindle material

Leave blank = Steel (standard)
ES = Stainless steel
AL = Hard anodized aluminium

Additional options

Leave blank = Standard
HR = Hand wheel
PA = Position indicator
HK = Leadscrew clamping
HR-PA-HK = Different combinations

Length of stroke

Shaft material

AWM = Hard anodized aluminium
SWM = Case-hardened steel
EWM = Stainless steel
CWM = Carbon fibre

Dimensions

1040 = shaft Ø 10 mm, TR10x2 (SLW)
12 = shaft Ø 12 mm, TR10x2
20 = shaft Ø 20 mm, TR18x4
2060 = shaft Ø 20 mm, TR18x4 (SLW)
30 = shaft Ø 30 mm, TR24x6

Type

SHT = Basic
SHTP = Cost-effective
SLW = Compact
SHTC = Flexible
SHTS = Fast

Lifetime calculation, CAD files and much more support ► www.igus.de/en/DryLinSHT

DryLin® SHT – Product Range



SHT – Basic*

The reliable solution for almost any application: 3 dimensions, a variety of possible material combinations, high load capacity and completely maintenance-free. Dimensionally interchangeable with most common linear slide tables.

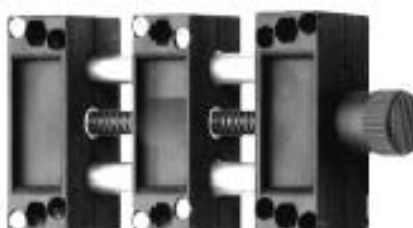
► Page 65.5



SHTP – Cost-effective*

The use of solid plastic end blocks and carriage makes this version an unbeatably cost-effective and lightweight solution. Recommended for handling all low weight applications by hand as well as occasionally with motor drives.

► Page 65.6



SLW – Compact*

This low-profile solution is based on the fully supported DryLin® W system. Therefore the system offers rigidity and torsion resistance at an economic price.

► Page 65.7



SHTC – Flexible*

The special feature of this module is the free design of the slide length: two short end blocks form the basis of the slide. The distance between the two can easily be adjusted to adapt to specific application requirements. Especially interested for vertical applications with a cantilevered load. The system can be varied in the same way as the standard SHT system.

► Page 65.8



SHTS – Fast*

50 mm or 100 mm advance with one rotation. The two available high helix threads of 10 x 50 or 18 x 100 ensure fast advance speeds in lightly loaded applications. The product can be configured in the same way as the standard SHT system.

► Page 65.9



Accessories

Nearly all linear slide tables can be combined with hand wheels, clamps or position indicators.

► Page 65.10



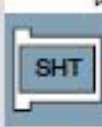
* Leadscrew and TR10x2, 10x50 supplied un-machined. The hand wheels in the pictures are available as accessories.

Lifetime calculation, CAD files and much more support ► www.igus.de/en/DryLinSHT



DryLin® SHT
mm

Phone +49 - 22 03 - 96 49-145
Fax +49 - 22 03 - 96 49-334





DryLin® SHT – Design/Calculation

DryLin® linear leadscrew units have been developed for position settings of all types. The linear setting is achieved by means of trapezoidal leadscrew that can be operated manually or by motor. The maximum linear speed is 1 m/min. The suitability of the linear slide unit for an application can be checked using the graphs below.

The following trapezoidal leadscrew drive sizes are used in SHT linear tables:

- TR 10x2: SHT-12, SHTC-12, SHTP-12, SLW-1040
- TR 18x4: SHT-20, SHTC-20, SLW-2080
- TR 24x5: SHT-30, SHTC-30

Please note that the loads given are axial loads. Radial loads are not given for trapezoidal leadscrews. For horizontal mounting with symmetrical loads, the following equation can be used:
 $F_{\text{max}} = F_{\text{axial}} \times 0.25$ (for horizontal mounting)

mm

DryLin® SHT

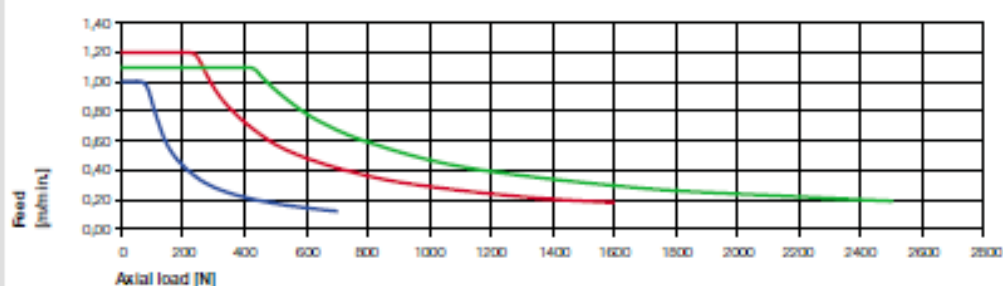
Phone +49 - 22 03 - 96 49-145
 Fax +49 - 22 03 - 96 49-334

iglus® GmbH
 51147 Cologne

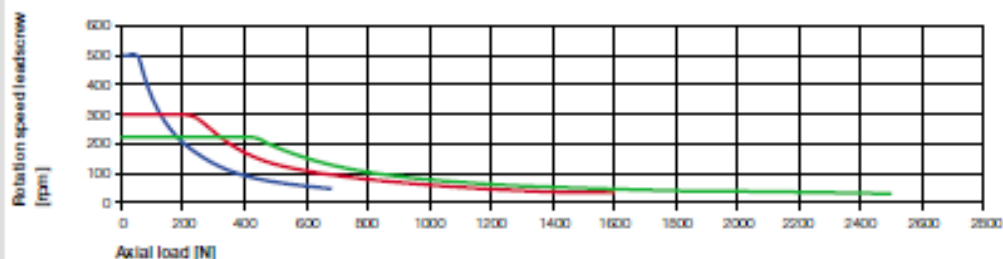
Internet www.igus.de
 E-mail info@igus.de

65.4

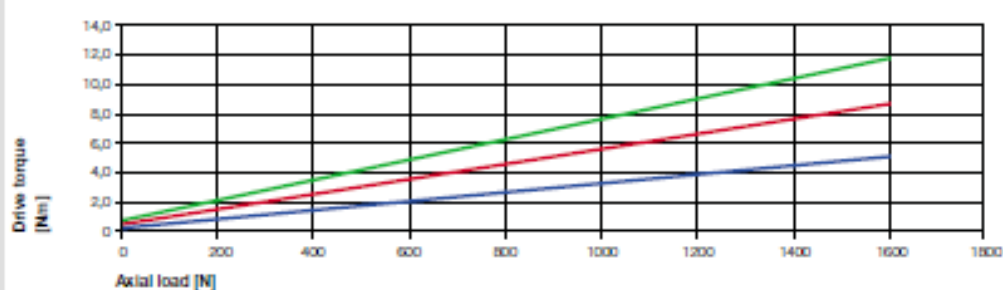
Max. feed [m/min.]



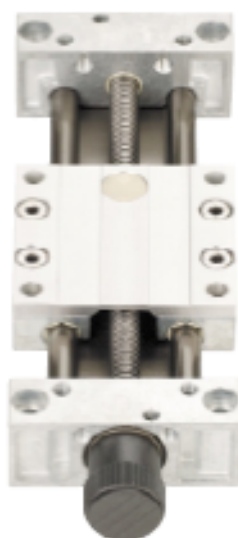
Max. permissible rotation speed leadscrew [rpm]



Drive torque [Nm]



DryLin® SLW – Compact



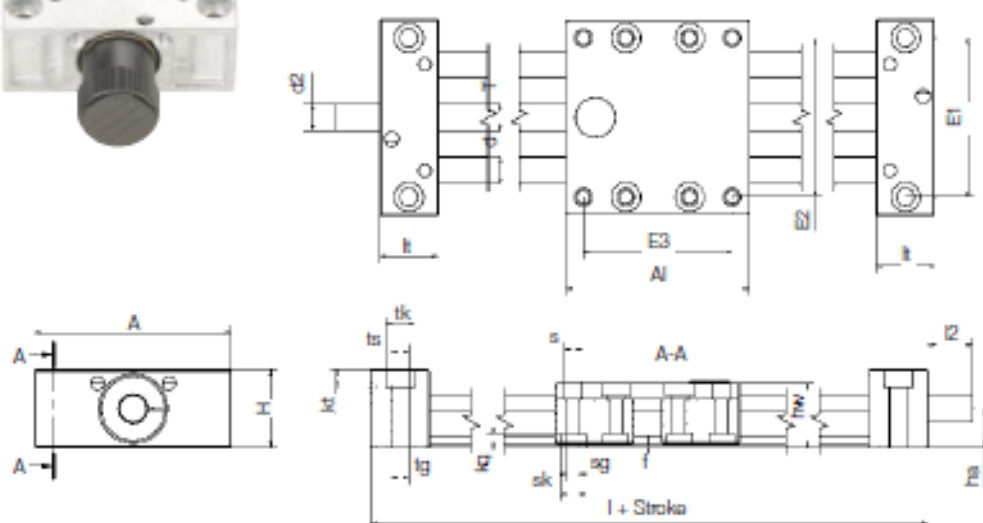
Special properties

- Low-profile and compactly
- High torsional stiffness
- Fully supported
- Hard anodized rail
- 2 strokes
- Zinc diecast end blocks
- Special version SLW-AL with end blocks made from anodized aluminium available on request



Order example:

More details on part no. options: ▶ Page 65.2



Lengths [mm] and Weight

Part No.	Maximum Stroke length [mm]	Weight [kg]	Shaft Additional weight (per 100 mm)	Max. stat. axial load-bearing capacity [N]
SLW-1040	750	0,7	0,1	700
SLW-1660	1000	1,5	0,3	1200
SLW-2080	1000	3,0	0,4	1600

Dimensions [mm]

Part No.	A	AI**	H	E1	E2	E3	I	hw	f	lt	tk	ts	tg
	-0,3	-0,3		±0,15	±0,15	±0,15							
SLW-1040	74	60	20	60	60	56	113	24	1,5	22	11	6,8	M8
SLW-1660	104	100	37	84	86	82	150	36	1,5	25	15	8,0	M10
SLW-2080	134	150	46	116	116	132	206	44	1,5	28	15	8,0	M10

Part No.	kt	s	sk	sg	kq	d	T	l2	d2	ha
	±0,1									
SLW-1040	6,4	6,6	9,5	M6	4,4	10	TR10x2	17	TR10x2	14,5
SLW-1660	8,6	6,6	11	M8	5,5	16	TR14x4	20	TR14x4	18,5
SLW-2080	8,6	9,0	14,0	M8	5,5	20	TR18x4	26	12 h9	23,0

* TR10x2 supplied with leadscrew and unmachined

** Carriages also in 100, 150, 200 and 250 mm lengths available on request

Lifetime calculation, CAD files and much more support ▶ www.igus.de/en/DryLinSHT

DryLin® SHT

mm

Phone +49 - 22 03 - 96 49-145
Fax +49 - 22 03 - 96 49-334



65.7

ANEXO II



DryLin® Slide Tables

Telephone 1-888-803-1895
Fax 1-401-438-7680

Internet: <http://www.igus.com>
E-Mail: sales@igus.com
QuickSpec: www.igus.com/qs/DryLin.asp

25.18

igus®

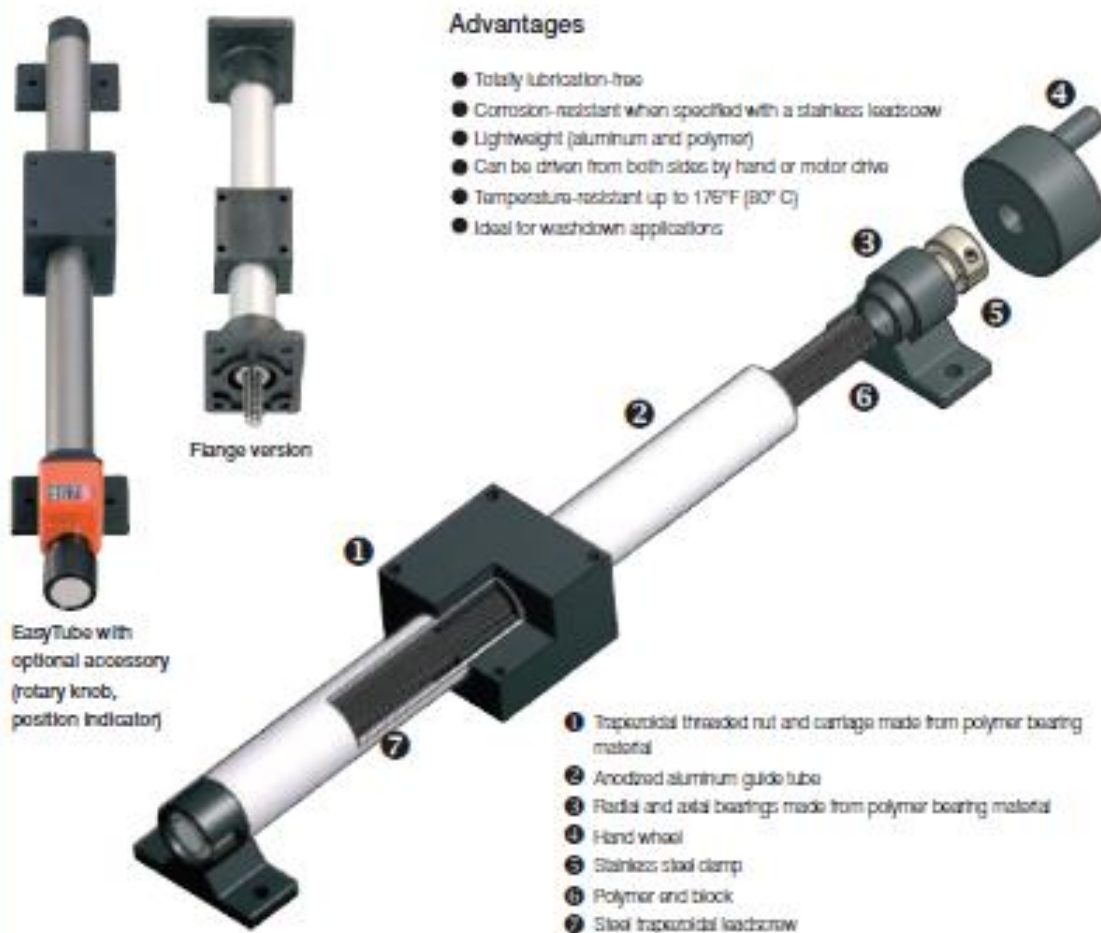
DryLin® Linear Slide Table - SET Easy Tube

3 Dimensions
2 Styles

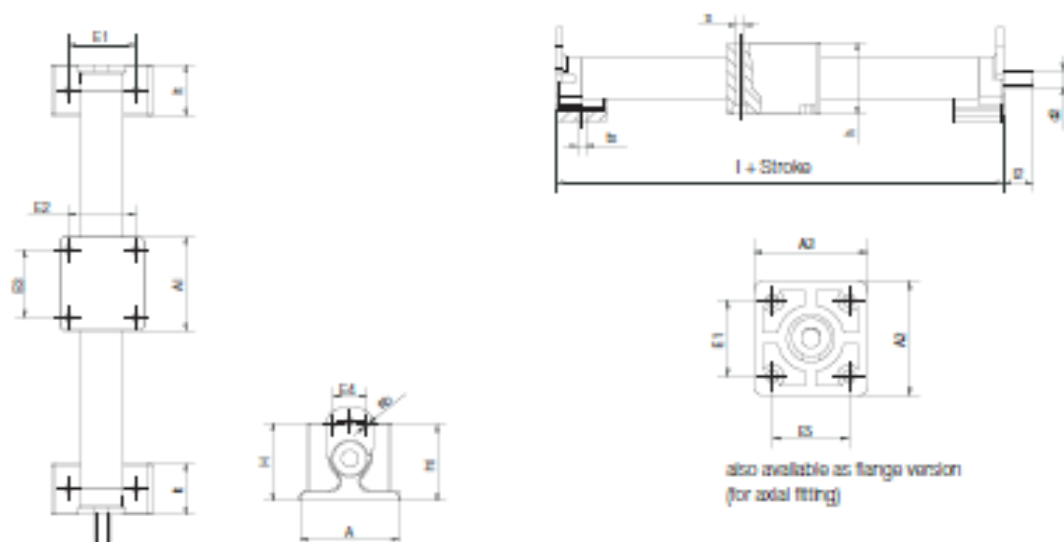
This new addition to the DryLin® slide table range has a simple but solid design; the complete system only consists of a few components. The anodized aluminum tube guides the slide carriage and at the same time protects the leadscrew. The carriage and the trapezoidal nut are manufactured from a high performance polymer bearing material. The system runs without any lubrication, and gives a low friction value combined with an excellent wear rate. Also, iglide® plain bearings are used in the axial fixing of the leadscrew.

Advantages

- Totally lubrication-free
- Corrosion-resistant when specified with a stainless leadscrew
- Lightweight (aluminum and polymer)
- Can be driven from both sides by hand or motor drive
- Temperature-resistant up to 176°F (80°C)
- Ideal for washdown applications



DryLin® Linear Slide Table - SET Easy Tube



Stainless shaft/load screw available upon request

Length (mm) and Weight

Part No.	Linear travel/rev	Maximum stroke length	Aluminum Shaft		Max. static load-bearing capacity	
	(mm)		weight (kg)	add'l weight (per 100 mm) (kg)	axial (N)	radial (N)
SET-12-AWM	.7	200	0.05	0.03	10	20
SET-25-AWM	2	650	0.15	0.12	150	300
SET-30-AWM	3	650	0.20	0.21	200	400

(1N = .225 lbf)

Dimensions (mm)

Part No.	A	A1	H	E1	E2	E3	E4	I	h	h1	It	ts	s	sb	l2	d2
SET-12-AWM	30	30	23.5	20	20	20	—	60	22	—	15	3.3	4.2	—	10	M4*
SET-25-AWM	60	55	44	40	40	40	20	115	39	45	30	5.2	5.2	M4	17	TR10x2*
SET-30-AWM	80	55	49	60	40	40	20	125	39	50	35	6.5	5.2	M4	20	TR12x3*

Dimensions (mm) – flange version

Part No.	A2	A3	H	E1	E2	E3	E5	I	h	It	ts	s	sb	l2	d2
SET-25-AWM-F	60	60	49	40	40	40	40	117	39	30	5.2	5.2	—	27	TR10x2*
SET-30-AWM-F	80	60	59	60	40	40	40	125	39	35	6.5	5.2	—	30	TR12x3*

* load screw and unmachined

Slide Tables

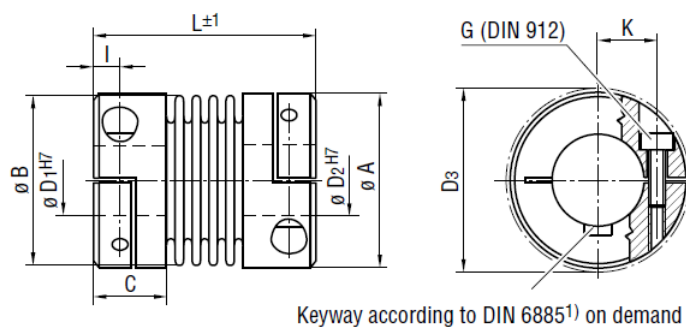
PDF: www.igus.com/pdf/DryLin.asp
Specs/CAD/Rfq: www.igus.com/DryLin.asp
RoHS info: www.igus.com/RoHS.asp



ANEXO III

Metal bellows couplings

Series DKN – miniature



Technical Data, Dimensions

TYPE	DIMENSIONS (mm)									TECHNICAL DATA					
	Ø A	Ø B	C	L (±1)	I	D ₁ /D ₂ (H7) from/to	D ₃ Clear- ance dia- meter	G (DIN 912) 8.8	K	Nominal- torque T _{KN} (Nm)	Misalignment (mm)		Torsio- nal stiffness C _{T dyn} (Nm/rad)	Moment of inertia J (g cm²)	Weight m (g)
											radial ΔK _r	axial ΔK _a			
DKN 4/21	15.5	15	7	21	2.4	3 – 6.5	17.5	M2	5.6	0.4	0.1	0.2	254	2.6	9
DKN 4/24	15.5	15	7	24	2.4	3 – 6.5	17.5	M2	5.6	0.4	0.15	0.3	190	2.6	9
DKN 4/28	15.5	15	7	27	2.4	3 – 6.5	17.5	M2	5.6	0.4	0.2	0.4	152	2.6	9
DKN 9/23	15.5	15	7	23	2.4	3 – 6.5	17.5	M2	5.6	0.9	0.1	0.2	507	2.6	9
DKN 9/26	15.5	15	7	26	2.4	3 – 6.5	17.5	M2	5.6	0.9	0.15	0.3	380	2.9	10
DKN 9/30	15.5	15	7	30	2.4	3 – 6.5	17.5	M2	5.6	0.9	0.2	0.4	305	3.2	11
DKN 15/26	20	19	9	26	3	3 – 10	21	M2.5	7	1.5	0.1	0.25	748	11	22
DKN 15/30	20	19	9	30	3	3 – 10	21	M2.5	7	1.5	0.15	0.4	701	12	24
DKN 20/32	25	24	12	32	3.5	3 – 12	27	M3	9	2	0.1	0.3	1530	25	36
DKN 20/38	25	24	12	38	3.5	3 – 12	27	M3	9	2	0.2	0.4	1290	27	38
DKN 20/42	25	24	12	42	3.5	3 – 12	27	M3	9	2	0.25	0.5	1030	28	40
DKN 45/41	32.5	32	14	41	4.5	6 – 16	34	M4	11.5	4.5	0.1	0.3	6450	98	74
DKN 45/50	32.5	32	14	50	4.5	6 – 16	34	M4	11.5	4.5	0.2	0.5	4030	103	78
DKN 100/47	40.5	40	14.5	47	5	6 – 19	41.5	M4	15.5	10	0.15	0.4	8070	231	120
DKN 100/57	40.5	40	14.5	57	5	6 – 19	41.5	M4	15.5	10	0.25	0.5	6720	250	130

Angular misalignment:

1.2° to 2°, depending on length

Hub bores:

Standard quality of fitting H7.
Custom bores on demand.

Tooling materials:

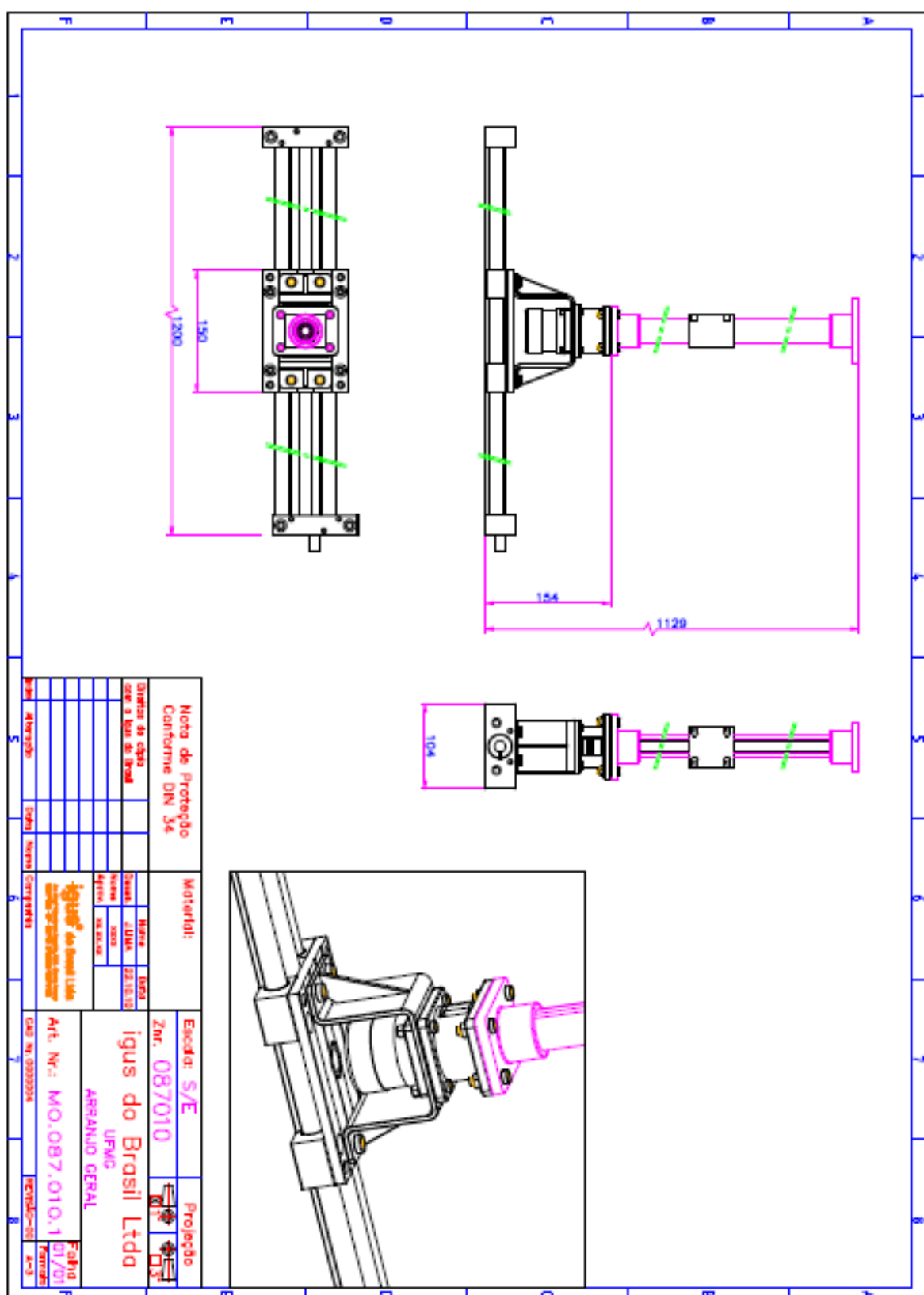
Hubs made of anodized aluminum, metal bellows made of stainless steel.

Standard bores:

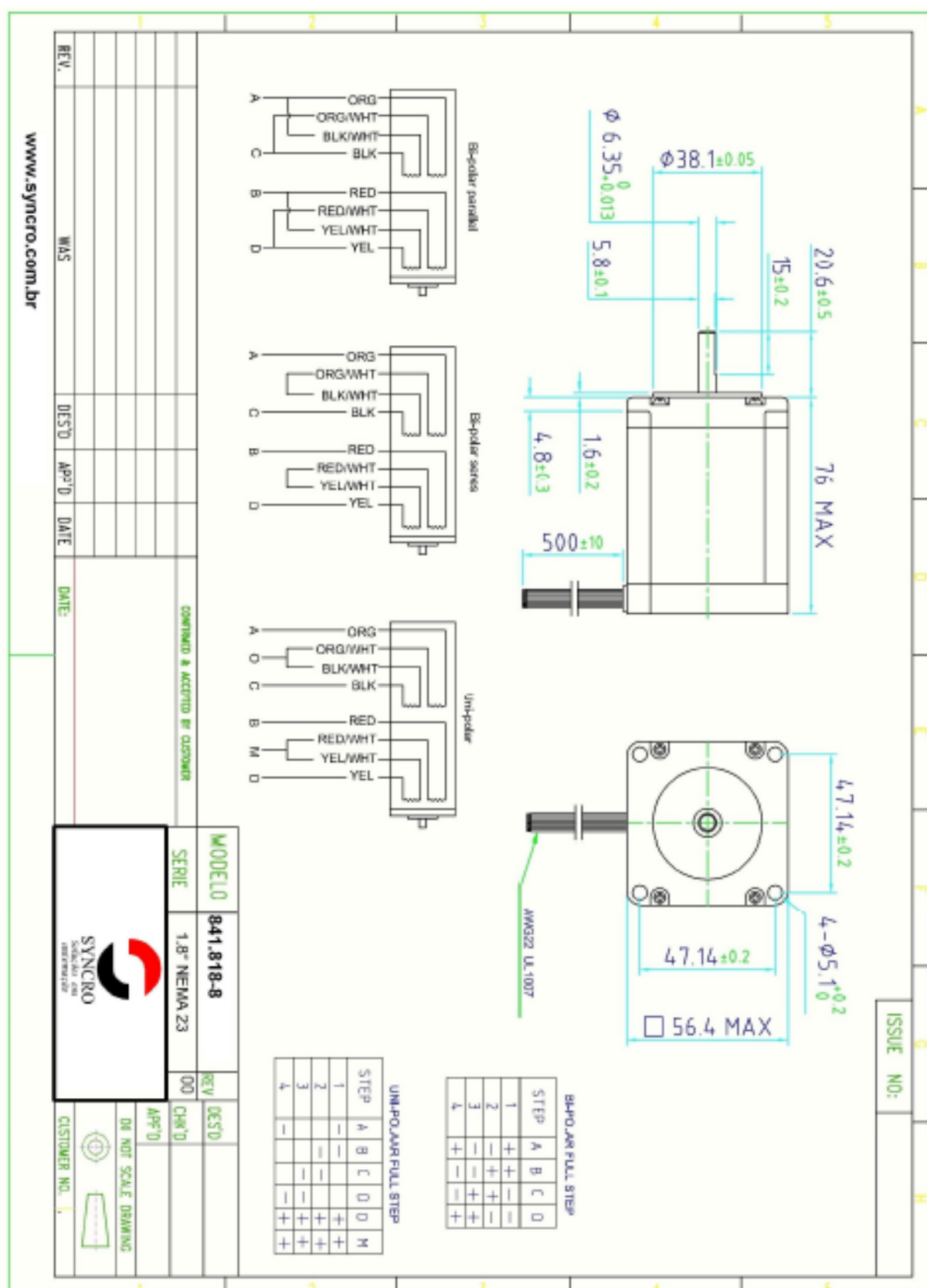
DKN 4-15 Ø 6H7
DKN 20 Ø 6H7 und 10H7
DKN 45-100 Ø 10H7

1) Tolerance of keyway: Standard JS9.

ANEXO IV



ANEXO V



ANEXO VI

ANEXO VI – Acionamento dos Motores de Passo

No acionamento do motores com configuração unipolar os terminais comuns das bobinas (O & M) permanecem energizados ininterruptamente, já os passos são realizados conforme os terminais de acionamento das bobinas (A, B, C e D) são aterrados.

O diagrama abaixo apresenta esquematicamente o motor, onde, a depender da bobina acionada (A, B, C ou D), determinado passo é acionado (1, 2, 3 e 4), Ressalta-se no entanto que os passos devem seguir ordem crescente ou decrescente, caso contrario, o motor esta sujeito a travamento e vibrações indesejáveis.

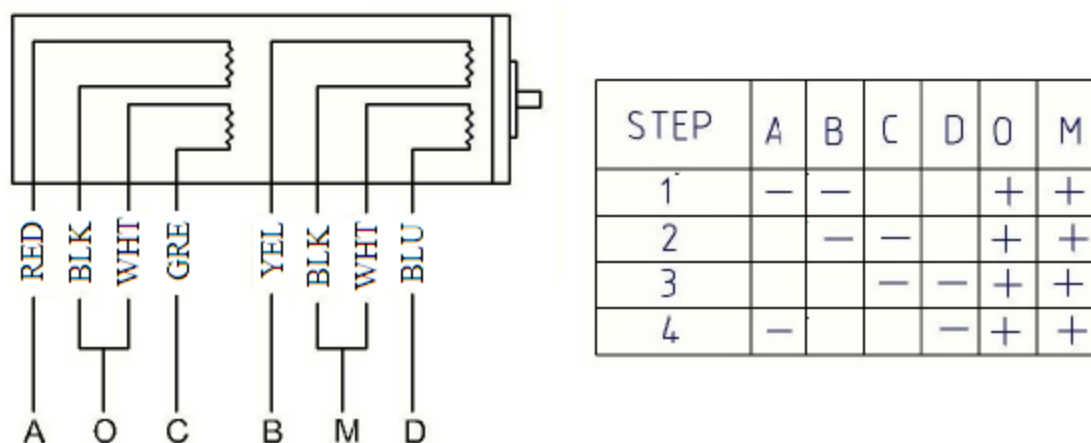


FIGURA - Configuração Unipolar

ANEXO VII

Anexo VII – Metodologia de Acionamento Eletrônico dos Motores de Passo

Tomando a Figura 1 como referência, o funcionamento do circuito inicia-se com a chegada do sinal lógico do microcontrolador através das entradas A0, A1, A2, A3, A4, E0, E1 e E2. Quando uma destas saídas do microcontrolador é acionada, o foto-diodo dos optoacopladores 4N33 (representado por U1, U2, U3,..., U8) é excitado, fazendo com que o foto-transistor feche o circuito de coletor-emissor e excitando a base dos transistores BDX33 (representados por Q1, Q2, Q3,..., Q8) que aterram os terminais do motor.

A Figura 1 apresenta ainda um foto-diodo (LED, representado por D1, D2, D3,..., D8) na entrada de cada optoacoplador. A função deste LED é de permitir melhor acompanhamento do usuário durante a operação, bem como, da realização de testes de programação sem a presença do motor.

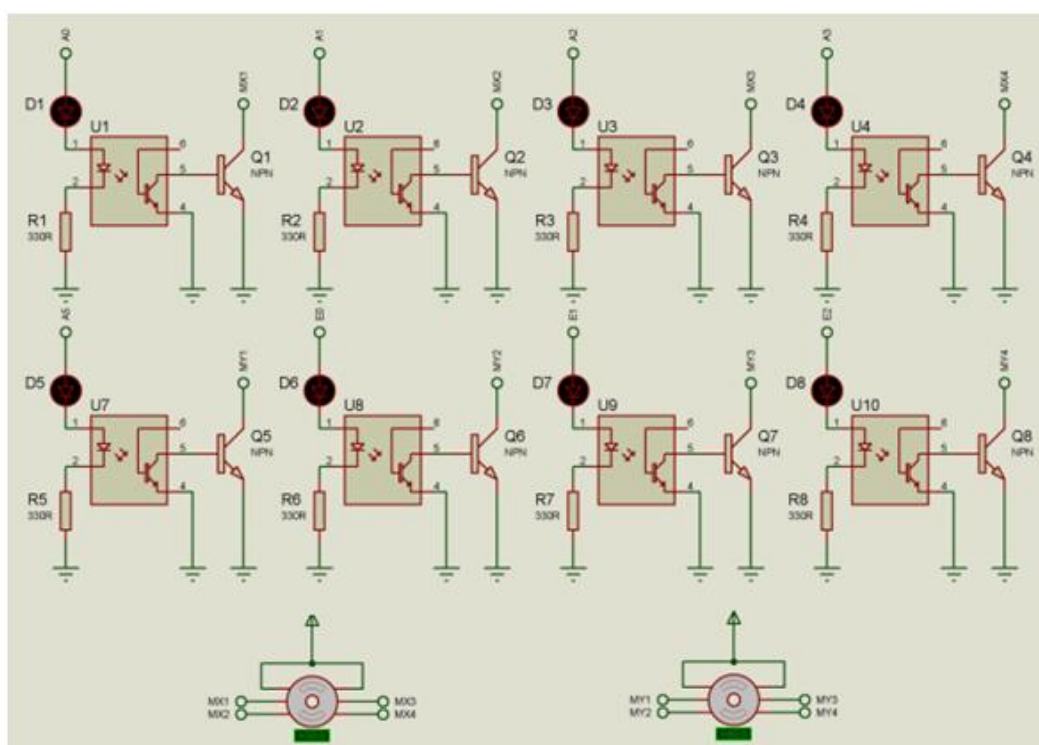


FIGURA 9 - Diagrama Eletrônico de Acionamento dos Motores de Passo

ANEXO VIII

Anexo VIII – Software de Controle do Módulo de Posicionamento

```
#include <18452.H>
#define ADC=10;
#define HS,NOWDT,NOPROTECT,NOBROWNOUT,NOLVP,PUT
#define delay(dock=2000000,restart_wdt)
#define rs232[baud=19200,parity=N,xmit=PIN_C5,rcv=PIN_C7,bits=8,stream=PC)

//Configuração do periférico de comunicação serial
///////////////////////////////////////////////////////////////////
#include <LCD.C> //biblioteca que permite utilizar o
display
#include <kbd.c> //biblioteca que permite utilizar o
teclado
#include <INPUT.C>
#include <stdlib.h>
#include <math.h>
///////////////////////////////////////////////////////////////////
#define F PIN_B0 //nome fantasia do pino B0
#define Q PIN_B1 //nome fantasia do pino B1
#define INTS_PER_SECOND 76 //((20000000/(4*256*256))
///////////////////////////////////////////////////////////////////
int int_count=76, tempo=0, tempo_passo=0, contador=0; //76
//ciclos equivalem a 0.9961472s

long int segundos=0, minutos=0, graus=0;
int32 posicao_x=0, posicao_y=0, posicao_x_mm=0, posicao_y_mm=0;
int32 SetX=0, SetY=0;
char status[2]=0,0;
char SetY_char[4]=0,0,0,0;
char teste1[1]=0; //so para nao dar pau
char SetX_char[4]=0,0,0,0;
char teste2[1]=0; //so para nao dar pau
///////////////////////////////////////////////////////////////////
// This function is called every time
// the RTCC (timer0) overflows (255->0).
void clock_isr() {
    ++tempo;
    if(--int_count==0) {
        // For this program this is apx 76 times
        ++segundos; // per second.
        if(segundos==60)
            (++minutos; segundos=0;
            int_count=INTS_PER_SECOND;})
}

//INT_RDA
void serial()
{
    gets(status);
    if(status[0]!='\r')
        (printf("%d\\y",posicao_x_mm);
        printf("%d\\y",posicao_y_mm);)
    else if(status[0]!='\n')
        (printf("enviarX\\y");
        gets(SetX_char);
        printf("enviarY\\y");
        gets(SetY_char);
        printf("FIM\\y");
        )
    }

    else (printf("Falha\\y");)
}

///////////////////////////////////////////////////////////////////inicializacao/////////////////////////////////////////////////////////////////
void inicializacao(void)
{
    lcd_puts("Versao 15.0");
    lcd_puts("\n__TIME__");
    lcd_gotoxy(17,1); //lcd_gotoxy(17,1) Terceira linha
    lcd_puts("UFMG");
    lcd_gotoxy(17,2); //lcd_gotoxy(17,2) Quarta linha
    lcd_puts("LAC");
    printf("\nPrograma OK\\n\\ySerial OK\\y");
    tempo_passo=20; // este 0 e' teste, colocar em 20 para
operacao normal;

    output_low(PIN_A0);
    output_low(PIN_A1);
    output_low(PIN_A2);
    output_low(PIN_A3);

    output_low(PIN_A5);
    output_low(PIN_E0);
    output_low(PIN_E1);
    output_low(PIN_E2);
    delay_ms(500);
}

///////////////////////////////////////////////////////////////////Passo X/////////////////////////////////////////////////////////////////
void PassoX_inc(void)
{
    if(input(PIN_B4))
    {
        output_low(PIN_A3);
        output_high(PIN_A0);
        delay_ms(tempo_passo);
        output_low(PIN_A0);
        output_high(PIN_A1);
        delay_ms(tempo_passo);
        output_low(PIN_A1);
        output_high(PIN_A2);
        delay_ms(tempo_passo);
        output_low(PIN_A2);
        output_high(PIN_A3);
        delay_ms(tempo_passo);
        output_low(PIN_A3);
        posicao_x=posicao_x+1;
    }
    else
        (printf("cd_putc,\"Verificar X+");
        delay_ms(1000);)
}

void PassoX_dec(void)
{
    if(input(PIN_B7))
    {
        output_low(PIN_A2);
        output_high(PIN_A3);
        delay_ms(tempo_passo);
        output_low(PIN_A3);
        output_high(PIN_A2);
        delay_ms(tempo_passo);
        output_low(PIN_A2);
        output_high(PIN_A1);
        delay_ms(tempo_passo);
        output_low(PIN_A1);
        output_high(PIN_A0);
        delay_ms(tempo_passo);
        output_low(PIN_A0);
        posicao_x=posicao_x-1;
    }
    else
        (printf("cd_putc,\"Verificar X-");
        delay_ms(1000);)
}

///////////////////////////////////////////////////////////////////Passo Y/////////////////////////////////////////////////////////////////
void PassoY_inc(void)
{
    if(input(PIN_B5))
    {
        output_low(PIN_E2);
        output_high(PIN_A5);
        delay_ms(tempo_passo);
        output_low(PIN_A5);
        output_high(PIN_E0);
        delay_ms(tempo_passo);
        output_low(PIN_E0);
        output_high(PIN_E1);
        delay_ms(tempo_passo);
        output_low(PIN_E1);
        output_high(PIN_E2);
        delay_ms(tempo_passo);
        output_low(PIN_E2);
        posicao_y=posicao_y+1;
    }
    else
        (printf("cd_putc,\"Verificar Y+");
        delay_ms(1000);)
}

}
```

```

void PassoY_dec(void)
{
    if(input(PIN_B6))
    {
        output_low(PIN_A5);
        output_high(PIN_E2);
        delay_ms(tempo_passo);
        output_low(PIN_E2);
        output_high(PIN_E1);
        delay_ms(tempo_passo);
        output_low(PIN_E1);
        output_high(PIN_E0);
        delay_ms(tempo_passo);
        output_low(PIN_E0);
        output_high(PIN_A5);
        delay_ms(tempo_passo);
        output_low(PIN_A5);
        posicao_y=posicao_y-1;
    }
    else
    {
        printf("cd_putc,\"Verificar Y-");
        delay_ms(1000);
    }
}

//Passo XY
void PassoXY_inc(void)
{
    if(input(PIN_B4) && input(PIN_B5))
    {
        output_low(PIN_A3);
        output_high(PIN_A0);
        output_low(PIN_E2);
        output_high(PIN_A5);
        delay_ms(tempo_passo);
        output_low(PIN_A0);
        output_high(PIN_A1);
        output_low(PIN_A5);
        output_high(PIN_E0);
        delay_ms(tempo_passo);
        output_low(PIN_A1);
        output_high(PIN_A2);
        output_low(PIN_E0);
        output_high(PIN_E1);
        delay_ms(tempo_passo);
        output_low(PIN_A2);
        output_high(PIN_A3);
        output_low(PIN_E1);
        output_high(PIN_E2);
        delay_ms(tempo_passo);
        output_low(PIN_A3);
        output_low(PIN_E2);
        posicao_x=posicao_x+1;
        posicao_y=posicao_y+1;
    }
    else
    {
        printf("cd_putc,\"Verificar X+ Y+");
        delay_ms(1000);
    }
}

void PassoXY_dec(void)
{
    if(input(PIN_B7) && input(PIN_B6))
    {
        output_low(PIN_A2);
        output_high(PIN_A3);
        output_low(PIN_A5);
        output_high(PIN_E2);
        delay_ms(tempo_passo);
        output_low(PIN_A3);
        output_high(PIN_A2);
        output_low(PIN_E2);
        output_high(PIN_E1);
        delay_ms(tempo_passo);
        output_low(PIN_A1);
        output_high(PIN_A0);
        output_low(PIN_E1);
        output_high(PIN_E2);
        delay_ms(tempo_passo);
        output_low(PIN_A0);
        output_low(PIN_E2);
        posicao_x=posicao_x-1;
        posicao_y=posicao_y+1;
    }
    else
    {
        printf("cd_putc,\"Verificar X- Y+");
        delay_ms(1000);
    }
}

//Passo XY
void PassoXY_inc_dec(void)
{
    if(input(PIN_B4) && input(PIN_B6))
    {
        output_low(PIN_A3);
        output_high(PIN_A0);
        output_low(PIN_A5);
        output_high(PIN_E2);
        delay_ms(tempo_passo);
        output_low(PIN_A0);
        output_high(PIN_A1);
        output_low(PIN_E2);
        output_high(PIN_E1);
        delay_ms(tempo_passo);
        output_low(PIN_A1);
        output_high(PIN_A2);
        output_low(PIN_E1);
        output_high(PIN_A3);
        output_low(PIN_E0);
        output_high(PIN_A5);
        delay_ms(tempo_passo);
        output_low(PIN_A3);
        output_low(PIN_A5);
        posicao_x=posicao_x+1;
        posicao_y=posicao_y-1;
    }
    else
    {
        printf("cd_putc,\"Verificar X+ Y-");
        delay_ms(1000);
    }
}

//Passo XY
void PassoXY_dec_inc(void)
{
    if(input(PIN_B7) && input(PIN_B5))
    {
        output_low(PIN_A2);
        output_high(PIN_A3);
        output_low(PIN_E2);
        output_high(PIN_A5);
        delay_ms(tempo_passo);
        output_low(PIN_A3);
        output_high(PIN_A2);
        output_low(PIN_A5);
        output_high(PIN_E0);
        delay_ms(tempo_passo);
        output_low(PIN_A2);
        output_high(PIN_A1);
        output_low(PIN_E1);
        output_high(PIN_A0);
        output_low(PIN_E2);
        output_high(PIN_E1);
        posicao_x=posicao_x-1;
        posicao_y=posicao_y+1;
    }
    else
    {
        printf("cd_putc,\"Verificar X- Y+");
        delay_ms(1000);
    }
}

//Passo XY
void main()
{
    set_timer(0);
    setup_counters(RTCC_INTERNAL, RTCC_DIV_256 | RTCC_8_BIT);
    enable_interrupts(INT_RTCC);
}

```

```

enable_interrupts(INT_RDA);
enable_interrupts(GLOBAL);

lcd_init(); //inicializa rotina para imprimir no display
kbd_init();
inicializacao();

posicao_x=10; //envia motores para posicao 0
posicao_y=10;
while (posicao_x>=1 || posicao_y>=1)
{
  if (input(PIN_87)) (posicao_x=0; lcd_gotoxy(17,1); lcd_putc("X Posicionado ");)
  else (posicao_x=10; lcd_gotoxy(17,1); lcd_putc("Posicionando X");)
  if (input(PIN_86)) (posicao_y=0; lcd_gotoxy(17,2); lcd_putc("Y Posicionado ");)
  else (posicao_y=10; lcd_gotoxy(17,2); lcd_putc("Posicionando Y");)

  if (0<posicao_x && 0==posicao_y) (PassoX_dec();)
  else if (0==posicao_x && 0<posicao_y) (PassoY_dec();)
  else if (0<posicao_x && 0<posicao_y) (PassoXY_dec();)
  else delay_ms(1);
}

SetX_char[0]=48;//apagar
SetX_char[1]=48;//apagar
SetX_char[2]=48;//apagar
SetX_char[3]=48;//apagar

SetY_char[0]=48;//apagar
SetY_char[1]=48;//apagar
SetY_char[2]=48;//apagar
SetY_char[3]=48;//apagar

while (True)
{
  SetX=ceil(atoi(SetX_char)/0.08); //apagar
  SetY=ceil(atoi(SetY_char)/0.06); //apagar

  posicao_x_mm=floor((float)posicao_x*0.08); //apagar
  posicao_y_mm=floor((float)posicao_y*0.06); //apagar

  printf(lcd_putc, "Tempo %02lu:%02lu %c", minutos, segundos, status[0]);
  lcd_gotoxy(17,1); printf(lcd_putc, "Xmm%04lu|Ymm%04lu", (long)posicao_x_mm,
    (long)posicao_y_mm);
  lcd_gotoxy(17,2); printf(lcd_putc, "Xpc%04S|Ypc%04S", SetX_char, SetY_char);

  if (SetX<posicao_x && SetY==posicao_y) (PassoX_inc();)
  else if (SetX<posicao_x && SetY==posicao_y) (PassoX_dec();)
  else if (SetX==posicao_x && SetY<posicao_y) (PassoY_inc();)
  else if (SetX==posicao_x && SetY<posicao_y) (PassoY_dec();)
  else if (SetX<posicao_x && SetY<posicao_y) (PassoXY_inc();)
  else if (SetX<posicao_x && SetY<posicao_y) (PassoXY_dec();)
  else if (SetX==posicao_x && SetY==posicao_y) (PassoXY_dec_inc();)
  else (lcd_gotoxy(1,1); printf(lcd_putc, "Posicao X ok");
    lcd_gotoxy(1,2); printf(lcd_putc, "Posicao Y ok");
    //lcd_gotoxy(17,1); printf(lcd_putc, "Nova Posicao X?");
    //lcd_gotoxy(17,2); printf(lcd_putc, "Nova Posicao Y?");
  )
}
}
}

```

ANEXO IX

Anexo IX – Software de Aquisição de Dados (Sistema Supervisório)

```

function varargout = Posicionador_V15_NIDAQ(varargin)
% POSICIONADOR_V15_NIDAQ M-file for Posicionador_V15_NIDAQ.fig
% POSICIONADOR_V15_NIDAQ, by itself, creates a new
% POSICIONADOR_V15_NIDAQ or raises the existing
% singleton*.
%
% H = POSICIONADOR_V15_NIDAQ returns the handle to a new
% POSICIONADOR_V15_NIDAQ or the handle to
% the existing singleton*.
%
% POSICIONADOR_V15_NIDAQ('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...
%) calls the local
% function named CALLBACK in POSICIONADOR_V15_NIDAQ.M
% with the given input arguments.
%
% POSICIONADOR_V15_NIDAQ('Property','Value',...) creates
% a new POSICIONADOR_V15_NIDAQ or raises the
% existing singleton*. Starting from the left, property
% value pairs are
% applied to the GUI before
% Posicionador_V15_NIDAQ_OpeningFcn gets called. An
% unrecognized property name or invalid value makes
% property application
% stop. All inputs are passed to
% Posicionador_V15_NIDAQ_OpeningFcn via varargin.
%
% *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI
% allows only one
% instance to run (singleton)".
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help
Posicionador_V15_NIDAQ

% Last Modified by GUIDE v2.5 24-Nov-2011 09:06:26

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn',  @Posicionador_V15_NIDAQ_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',   @Posicionador_V15_NIDAQ_OutputFcn, ...
                  'gui_LayerFcn',    [], ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State,
    varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before Posicionador_V15_NIDAQ is made
% visible.
function Posicionador_V15_NIDAQ_OpeningFcn(hObject, eventdata,
handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)
% varargin command line arguments to Posicionador_V15_NIDAQ
(see VARARGIN)

% Choose default command line output for
Posicionador_V15_NIDAQ
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);
initialize_gui(hObject, handles, false);

% --- Outputs from this function are returned to the command
% line.
function varargout = Posicionador_V15_NIDAQ_OutputFcn(hObject,
eventdata, handles)
% varargout cell array for returning output args (see
VARARGOUT);
% hObject handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes during object creation, after setting all
% properties.
function PosicaoX_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to PosicaoX (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function PosicaoY_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to PosicaoY (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function npontosX_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to npontosX (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function npontosY_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to npontosY (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB

```

```

% handles empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultuicontrolBackgroundColor'))
set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function distanciaX_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to distanciaX (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles empty - handles not created until after all
CreateFcns called
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultuicontrolBackgroundColor'))
set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function distanciaY_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to distanciaY (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles empty - handles not created until after all
CreateFcns called
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultuicontrolBackgroundColor'))
set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function inicialX_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to inicialX (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultuicontrolBackgroundColor'))
set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function inicialY_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to inicialY (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultuicontrolBackgroundColor'))
set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function sair_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% --- Executes during preenchimento do texto ou aperto do
pushbotom.
function PosicaoX_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to PosicaoX (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)
PosicaoX = str2double(get(hObject, 'String'));
handles.metricdata.PosicaoX = PosicaoX;
guidata(hObject,handles)
initialize_PosicaoAtual(hObject, handles, false)
initialize_Trajectoria(hObject, handles, false)
function PosicaoY_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to PosicaoY (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)
global PosicaoY
PosicaoY = str2double(get(hObject, 'String'));
handles.metricdata.PosicaoY = PosicaoY;
guidata(hObject,handles)
initialize_PosicaoAtual(hObject, handles, false)
initialize_Trajectoria(hObject, handles, false)
function npontosX_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to npontosX (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)
npontosX = str2double(get(hObject, 'String'));
handles.metricdata.npontosX = npontosX;
guidata(hObject,handles)
function npontosY_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to npontosY (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)
npontosY = str2double(get(hObject, 'String'));
handles.metricdata.npontosY = npontosY;
guidata(hObject,handles)
function distanciaX_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to distanciaX (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)
distanciaX = str2double(get(hObject, 'String'));
handles.metricdata.distanciaX = distanciaX;
guidata(hObject,handles)
function distanciaY_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to distanciaY (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)
distanciaY = str2double(get(hObject, 'String'));
handles.metricdata.distanciaY = distanciaY;
guidata(hObject,handles)
function inicialX_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to inicialX (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)
inicialX = str2double(get(hObject, 'String'));
handles.metricdata.inicialX = inicialX;
guidata(hObject,handles)
function inicialY_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to inicialY (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)
inicialY = str2double(get(hObject, 'String'));
handles.metricdata.inicialY = inicialY;
guidata(hObject,handles)
function lt_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to lt (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)
lt = str2double(get(hObject, 'String'));
handles.metricdata.lt = lt;

```

```

guidata(hObject,handles)

% Hint: get(hObject,'String') returns contents of it as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
%       it as a double

function sair_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to sair (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
%       MATLAB
% handles structure with handles and user data (see
%       GUIDATA)
close all
function Iniciar_coleta_Callback(hObject, eventdata, handles)

pontosX=handles.metricdata.inicialX;handles.metricdata.distanc
iaX=handles.metricdata.distanciaX*handles.metricdata.npontosX+
handles.metricdata.inicialX
pontosY=handles.metricdata.inicialY;handles.metricdata.distanc
iaY=handles.metricdata.distanciaY*handles.metricdata.npontosY+
handles.metricdata.inicialY
lt=handles.metricdata.lt
ix=1;
iy=1;
il=1;
handles.metricdata.PosicaoX=9999; %comeca com valor
9999 para obrigar o programa a entrar na rotina de leitura de
posicao
handles.metricdata.PosicaoY=9999; %comeca com valor
9999 para obrigar o programa a entrar na rotina de leitura de
posicao
PosicaoX=9999;
PosicaoY=9999;
axes(handles.axes1);
cla;
axis([0 1000 0 1000]);

while (iy<=handles.metricdata.npontosY)
    while (ix<=handles.metricdata.npontosX)
        SPX=pontosX(1,ix)
        SPY=pontosY(1,iy)
        %*****envia posicao
        %*****
        s = serial('COM1', 'BaudRate',19200,
        'DataBits',8,'FlowControl','none','Parity','none','Terminator'
        ,13);
        fopen(s);
        il=1;
        %       fclose(s)
        %       delete(s)
        %       clear s
        %*****aguarde chegar na posicao
        %*****
        while (handles.metricdata.PosicaoX<=SPX
        |handles.metricdata.PosicaoY<=SPY)
            %       s = serial('COM1', 'BaudRate',19200,
            %       'DataBits',8,'FlowControl','none','Parity','none','Terminator'
            %       ,13);
            %       fopen(s)
            %       if (il>30)

                Operator='w'; %R para ler e W para escrever
                fprintf(s,'%s\r',Operator, 'async')
                Status = fscanf(s);
                fprintf(s,'%lu\r',SPX, 'async')
                Status = fscanf(s);
                fprintf(s,'%lu\r',SPY, 'async')
                Status = fscanf(s);

                Operator='r'; %R para ler e W para escrever
                fprintf(s,'%s\r',Operator, 'async')
                PosicaoX = fscanf(s);
                PosicaoY = fscanf(s);

            il=1;
        end

        ix=il+1
        %       fclose(s)
        %       delete(s)
        %       clear s

        handles.metricdata.PosicaoX=str2double(PosicaoX);
        handles.metricdata.PosicaoY=str2double(PosicaoY);
        set(handles.PosicaoX, 'String',
        handles.metricdata.PosicaoX);
        set(handles.PosicaoY, 'String',
        handles.metricdata.PosicaoY);
        initialize_Trajectoria(hObject, handles, false)

    end
    fclose(s)
    delete(s)
    clear s

    axes(handles.axes1);
    hold;
    plot(SPX,SPY,'or');
    hold;
    %*****coleta
    %*****
    if (~isempty(daqfind))
        stop(daqfind)
    end
    ai = analoginput('nidaq','Dev1');
    addchannel(ai, [1]);
    ai.Channel.InputRange = [-0.2 0.2]
    ai.Channel.sensorange = [-0.2 0.2]
    ai.Channel.unitrange = [-0.2 0.2]
    set(ai, 'SampleRate', 100000);
    set(ai, 'SamplesPerTrigger', 100000*lt);
    set(ai, 'TriggerType', 'immediate');
    set(ai, 'LoggingMode', 'Memory');
    set(ai, 'LogFileName', 'LogFile.daq');

    set(ai, 'TimePeriod', 0.3);
    set(ai, 'TimeFcn', @showdata);
    set(ai, {'StartFcn','StopFcn','TriggerFcn'}, {'',
    '', ''});

    ai=subplot(1,2,1,'Parent',handles.uipanel3);
    start(ai);
    [data,time] = getdata(ai);

    delete (ai);
    posicao=[SPX SPY]
    output=[posicao;time data];
    mydata=mat2str(posicao);
    save (mydata, 'output','-ASCII')

    %*****FTT*****
    %*****
    Fs = 100000; % Sample frequency (Hz)
    blocksize = length(data); % Window length (numero de
    amostras)
    [f,mag]=
    daqdocfft(data,Fs,handles.metricdata.lt*100000);

    %       n = pow2(nextpow2(blocksize)); % Transform length
    %       (nextpow2(m) - potencia de 2 mais proxima do numero de
    %       amostras)
    %       datafft = fft(data,n); % DFT
    %       power = datafft.*conj(datafft); % Power of the DFT

    %*****FTT*****
    %*****

    ai=subplot(1,2,1,'Parent',handles.uipanel4);
    subplot(1,2,1);
    cla;
    plot(time,data);
    xlabel('Tempo (s)');
    ylabel('Amplitude (V)');
    axis([0 lt -0.5 0.5]);

```

```

subplot(1,2,2);
plot(f,mag);
xlabel('Frequencia (Hz)');
ylabel('Magnitude (dB)');
axis([0 5000 -50 70]);

% subplot(1,3,3);
% f = (0:n-1)*(Fs/n); % Frequency range
% plot(f,power);
% xlabel('Frequencia (Hz)');
% ylabel('Power');
% axis([0 48000 -100 100]);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% ix=ix+1;
% end
% ix=1;
% iy=iy+1;
end

% --- Rotinas de Execucao.
function initialize_gui(fig_handle, handles, isreset)
% If the metricdata field is present and the reset flag is
% false, it means
% we are we are just re-initializing a GUI by calling it from
% the cmd line
% while it is up. So, bail out as we dont want to reset the
% data.
if isfield(handles, 'metricdata') && ~isreset
    return;
end
handles.metricdata.PosicaoX = 0;
handles.metricdata.PosicaoY = 0;
handles.metricdata.nPontosX = 2;
handles.metricdata.nPontosY = 2;
handles.metricdata.distanciaX = 100;
handles.metricdata.distanciaY = 100;
handles.metricdata.lt = 5;
set(handles.PosicaoX, 'String', handles.metricdata.PosicaoX);
set(handles.PosicaoY, 'String', handles.metricdata.PosicaoY);
set(handles.nPontosX, 'String', handles.metricdata.nPontosX);
set(handles.nPontosY, 'String', handles.metricdata.nPontosY);
set(handles.distanciaX, 'String',
handles.metricdata.distanciaX);
set(handles.distanciaY, 'String',
handles.metricdata.distanciaY);
set(handles.lt, 'String', handles.metricdata.lt);

axes(handles.axes1);
cla;
title ('Trajetoria')
xlabel('X (mm)');
ylabel('Y (mm)');
axis([0 1000 0 1000]);

al=subplot(1,2,1,'Parent',handles.uipanel4);
subplot(1,2,1);
cla;
xlabel('Tempo (s)');
ylabel('Amplitude (V)');
axis([0 handles.metricdata.lt -1 1]);
subplot(1,2,2);
xlabel('Frequencia (Hz)');
ylabel('Magnitude (dB)');
axis([0 24000 -50 50]);

al=subplot(1,2,1,'Parent',handles.uipanel3);
subplot(1,2,1);

xlabel('Amostras (un)');
ylabel('Amplitude (V)');
axis([0 1500 -1 1]);
subplot(1,2,2);
xlabel('Frequencia (Hz)');
ylabel('Magnitude (dB)');
axis([0 24000 -50 70]);
guidata(handles.figure1, handles);
function initialize_Trajetoria(fig_handle, handles, isreset)
% If the metricdata field is present and the reset flag is
% false, it means
% we are we are just re-initializing a GUI by calling it from
% the cmd line
% while it is up. So, bail out as we dont want to reset the
% data.
axes(handles.axes1);
hold;
title ('Trajetoria')
xlabel('X (mm)');
ylabel('Y (mm)');
plot(handles.metricdata.PosicaoX,handles.metricdata.PosicaoY,
'-');
hold;
function showdata(obj, event)
if nargin == 0
    error('This function may not be called with 0
inputs.\n',...
'Type ''daqhelp daqtimerplot'' for an example using
DAQTIMERPLOT.'');
elseif nargin == 1
    error('Type ''daqhelp daqtimerplot'' for an example using
DAQTIMERPLOT.'');
end

% Determine the number of samples to plot. Make sure that we
% never try to
% get more samples than are available in the engine.
size =
min(floor((obj.SampleRate)*(obj.TimerPeriod)),obj.SamplesAvail
able);

% Preview the data in the data acquisition toolbox buffer, and
% plot it.
data = peekdata(obj, size);

subplot(1,2,1);
plot(data);
xlabel('Amostras (s)');
ylabel('Amplitude (V)');
axis([0 1500 -0.01 0.01]);

%[f,mag]= daqdocfft(data,100000,size);
%subplot(1,2,2);
%plot(f,mag);
%xlabel('Frequencia (Hz)');
%ylabel('Magnitude (dB)');
%axis([0 10000 -100 100]);

subplot(1,2,2);
n = pow2(nextpow2(size));
datafft = fft(data,n);
power = sqrt(datafft.*conj(datafft));
f = (0:n-1)*(100000/n);
plot(f,power);
xlabel('Frequencia (Hz)');
ylabel('Power');
axis([0 3000 0 100])

drawnow;

```

ANEXO X

ANEXO X – Software de Conversão Tempo/Frequência

```

close all
clc

i=1;
mapa=[ (1:1:140) ', (1:1:140) ', (1:1:140) ', (1:1:140) ', (1:1:140) ', (1:1:140) ', (1:1:140) ', (1:1:140
) '];

while (i<337)

if (i==1)    XY=importdata('100 75'); end
if (i==2)    XY=importdata('100 125'); end
o
o
o
if (i==335) XY=importdata('775 575'); end
if (i==336) XY=importdata('775 625'); end

data=XY(2:500001,2);

Fs = 100000; % Sample frequency (Hz)
blocksize = length(data); % Window length (numero de amostras)

n = pow2(nextpow2(blocksize)); % Transform length (nextpow2(m) - potencia de 2 mais
proxima do numero de amostras)
datafft = fft(data,n);          % DFT
power = sqrt(datafft.*conj(datafft)); % Power of the DFT

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%FFT%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

    f = (0:n-1)*(Fs/n);          % Frequency range
    %plot(f,power)
    %xlabel('Frequencia (Hz)');
    %ylabel('Power');
    %axis([0 48000 -10000000 10000000]);

freq_avaliada1=power(1:5243);%linha da freq de 0k ate 1k (11012 para 2.1k)
freq_avaliada2=power(5243:10486);%linha da freq de 1k ate 2k (11012 para 2.1k)
freq_avaliada3=power(10486:15729);%linha da freq de 2k ate 3k (11012 para 2.1k)
freq_avaliada4=power(1:7865);%linha da freq de 0k ate 1.5k (11012 para 2.1k)
freq_avaliada5=power(7865:15729);%linha da freq de 1.5khz ate 3khz

mapa(i,1)=XY(1,1);

```

```
mapa(i,2)=XY(1,2);
mapa(i,3)=mean(freq_avaliada1);
mapa(i,4)=mean(freq_avaliada2);
mapa(i,5)=mean(freq_avaliada3);
mapa(i,6)=mean(freq_avaliada4);
mapa(i,7)=mean(freq_avaliada5);
mapa(i,8)=mean(sqrt(data.*conj(data)));
atual=[mapa(1:i,1),mapa(1:i,2),mapa(1:i,3),mapa(1:i,4),mapa(1:i,5),mapa(1:i,6),mapa(1:i,7),
mapa(1:i,8)]

i=i+1;
end
```