

10,0
Julio C. Adamowski


RAFAEL ZANONI AMBROGI COELHO GONÇALVES



**EQUIPAMENTO DE INSPEÇÃO AUTOMÁTICA DE CILINDROS DE GASES
INDUSTRIAIS**

Trabalho final de curso apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo para aprovação em PMC581

São Paulo
1998

RAFAEL ZANONI AMBROGI COELHO GONÇALVES

**EQUIPAMENTO DE INSPEÇÃO AUTOMÁTICA DE CILINDROS DE GASES
INDUSTRIAIS**

Trabalho final de curso apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo para aprovação em PMC581

Área de Concentração:
Ensaios não Destrutivos

Orientador:
Júlio Cesar Adamowski

São Paulo
1998

Sumário

1. Introdução	7
2. Estabelecimento da Necessidade e Especificações Técnicas	13
3. Aspectos a serem considerados	24
4. Geração de Alternativas	25
 4.1. Especificação do Dispositivo de Varredura	26
 4.1.1. Movimentação da unidade sensora	27
 4.1.2. Formato da unidade sensora	28
 4.2. Estrutura do Equipamento	29
 4.3. Sistema de Armazenamento e Circulação do Líquido de Acoplamento Acústico	30
 4.4. Sistema de Calibração dos Transdutores	31
 4.5. Sistemas de Acionamento	32
5. Síntese de Soluções	33
6. Escolha da Melhor Solução	35
7. Descrição da Solução	37
 7.1. Especificação Detalhada do Dispositivo de Varredura	38
 7.2. Dimensionamento do Motor de Acionamento do Giro do Cilindro	39
 7.3. Dimensionamento da Transmissão de Potência do Motor à Mesa Giratória	42
 7.4. Especificação do Mancal da Mesa Giratória	43
 7.5. Especificação da Fixação Superior	44
 7.6. Especificação da Estrutura Mecânica	45

7.7. Especificação do Sistema de inspeção por Ultra-som	46
7.8. Especificação do sistema de circulação de fluido de acoplamento acústico	47
7.9. Especificação da Instalação dos Motores e Sensores	50
7.10. Especificação da Conexão com a Parte Eletro-Eletrônica	52
8. Teste do Protótipo	53
9. Conclusões	63
10. Referências Bibliográficas	65
11. Anexos	67
11.1. Desenho de Conjunto	68
11.2. Desenhos de Fabricação	69
11.3. Software de Controle	70
11.4. Fotos do Protótipo	90

Lista de tabelas

Tabela 1 _____ **36**

Lista de Figuras

<i>Figura 1 - Medição da mossa identificada pela inspeção visual externa: a) medição da profundidade; b) medição do comprimento; c) medição da largura.....</i>	10
<i>Figura 2 – Ilustração mostrando o uso de uma lâmpada com proteção para realizar a inspeção interna</i>	11
<i>Figura 3 – Instalação típica para teste hidrostático.....</i>	12
<i>Figura 4 - Gráfico de transmissão de eco com interface água - aço.....</i>	20
<i>Figura 5 – Exemplos de sinais do transdutor longitudinal para a) superfície normal; b) com corrosão e c) com mossa.....</i>	21
<i>Figura 6 – Exemplos de sinal de um transdutor transversal na presença de uma trinca.....</i>	22
<i>Figura 7 – Rasgos definidos pela norma ISO/CD 9809.....</i>	23
<i>Figura 8 – Simplificação do Cilindro</i>	41
<i>Figura 9 – Sinal do Transdutor Longitudinal</i>	56
<i>Figura 10 –Sinal do Transdutor Transversal direcionado para cima</i>	57
<i>Figura 11 – Sinal do Transdutor Transversal direcionado para baixo</i>	58
<i>Figura 12 – Sinal do Transdutor Transversal direcionado para direita - rasgo externo.....</i>	59
<i>Figura 13 – Sinal do Transdutor Transversal direcionado para esquerda - rasgo externo.....</i>	60
<i>Figura 14 – Sinal do Transdutor Transversal direcionado para direita - rasgo interno</i>	61
<i>Figura 15 – Sinal do Transdutor Transversal direcionado para esquerda - rasgo interno</i>	62
<i>Figura 16 - Tela Inicial de Operação, com botão de início de varredura, controles de sensibilidade de detecção de defeitos, e botões de configuração e de visualização do mapeamento do cilindro</i>	
<i>Figura 17 - Tela de mapeamento do Cilindro, na qual há botões de opção de visualização de cada tipo de defeito do cilindro</i>	
<i>Figura 18 - Vista geral do equipamento - Cilindro de teste ao lado</i>	
<i>Figura 19 - Vista geral do equipamento - Cilindro fixado - Parte eletrônica com computador à direita do equipamento</i>	
<i>Figura 20 - Mancal inferior do equipamento, com as placas de reservatório</i>	

Figura 21 - Perspectiva traseira do equipamento, mostrando o motorreductor e o tanque com a bomba instalada

Figura 22 - Suporte dos transdutores com mangueira instalada e sistema de molas

Figura 23 - Suporte dos transdutores encaixado à parede do cilindro

Resumo

Este trabalho trata do desenvolvimento de um equipamento automático de inspeção de defeitos em cilindros para gases industriais.

O equipamento utiliza transdutores de ultra-som para identificar e quantificar defeitos provocados por corrosão e fissuras.

O cilindro a ser inspecionado é colocado verticalmente em uma base giratória e fixado superiormente. O cilindro gira com velocidade constante, e um cabeçote com transdutores de ultra-som, acoplado à parede externa do cilindro através de um filme de água, movimenta-se verticalmente sobre o cilindro, emitindo ondas de ultra-som e recebendo os respectivos ecos.

Defeitos provocados por corrosão são detectados através da medição da espessura da parede do cilindro, utilizando-se um transdutor de ondas longitudinais na freqüência de 10 MHz. Defeitos do tipo fissura, são detectados por quatro transdutores de ondas transversais, operando na freqüência de 5 MHz, em 50° no aço.

As medições são basicamente intervalos de tempos correspondendo ao estado da parede do cilindro em cada posição. Os resultados são armazenados por um computador, que os analisa e mostra na tela um mapa da parede do cilindro, indicando os pontos onde ocorreram diminuição de parede e/ou fissura.

O equipamento executa uma medição com os cinco transdutores a cada 1 mm de deslocamento, tanto vertical quanto periférico. A espessura de parede é medida com 0,1 mm de resolução.

Este trabalho teve um artigo publicado com o título “Equipamento de Inspeção Automática de Cilindros Industriais” na revista da COTEQ – Conferência sobre tecnologia de equipamentos – 1998 e recebeu o prêmio Metal-Chek de melhor trabalho técnico apresentado na XVII CONAEND.

1. Introdução

Este trabalho refere-se ao projeto de pesquisa e desenvolvimento denominado "Equipamento de Inspeção Automática de Cilindros de Gases Industriais", desenvolvido no Departamento de Engenharia Mecânica da EPUSP, com recursos financeiros do PADCT/FINEP.

Os cilindros de gases industriais (ou gases de alta pressão) são largamente utilizados nos mais diversos ambientes da sociedade, como indústrias, hospitais, consultórios médicos, oficinas mecânicas, laboratórios, bares, restaurantes, etc.

Armazenando e transportando gases sob alta pressão, os cilindros circulam no cotidiano urbano e industrial e qualquer acidente pode implicar em perdas materiais e de vidas humanas. A necessidade de garantir a integridade desses cilindros leva a inúmeros cuidados no seu manuseio, bem como a realização de testes periódicos para a detecção de possíveis falhas que possam comprometer a segurança de quem utiliza esses cilindros.

Sempre que o cilindro retorna à fábrica para a recarga, realiza-se um conjunto de testes visando a identificação de defeitos grosseiros, como danos na pintura, na válvula, mossas (amasso devido a pancadas), ou mesmo a presença de rasgos superficiais e a ocorrência de queimaduras ou soldas localizadas.

Normalmente, a cada cinco anos, os cilindros são retirados de operação e submetidos a um conjunto específico de testes para sua qualificação. Uma vez aprovado

nesses testes, o cilindro é liberado para um novo período de uso. Os critérios de aceitação estão descritos em norma técnica da ABNT [3].

Dentre os diversos testes realizados, seja previamente à recarga ou durante a qualificação, salientam-se os seguintes:

- inspeção visual externa: visa identificar defeitos grosseiros existentes na superfície externa do cilindro, tais como: mossas, rasgos, danos na pintura, cortes, queimadura por arco elétrico ou maçarico, etc. (veja figura 1);
- teste com martelo - através do impacto de um martelo contra a parede do cilindro, busca-se a identificação de defeitos como trincas e corrosão;
- inspeção visual interna/externa - procura-se identificar defeitos e não conformidades grosseiras, tanto nas superfícies internas como externas. Para a realização deste teste é necessária a remoção do gás e limpeza interna do cilindro. Na inspeção interna utiliza-se uma pequena lâmpada para iluminar internamente o cilindro, sendo que o acesso visual ao interior do cilindro fica restrito ao orifício da sede da válvula (veja figura 2);
- teste hidrostático: consiste em colocar o cilindro em uma camisa d'água, aplicando-se uma sobre-pressão , identificando-se possíveis quedas de pressão ao longo do tempo, bem como a expansão volumétrica elástica e permanente.

Quedas de pressão podem identificar vazamentos a partir de furos. A expansão volumétrica elástica indica a redução da espessura média do cilindro, enquanto que a expansão permanente indica mudança nas propriedades metalúrgicas do material do cilindro (veja figura 3).

Nos países desenvolvidos, principalmente nos EUA, já começam a ser utilizados equipamentos automatizados para a inspeção de cilindros em substituição ao métodos convencionais, apresentados acima. A técnica de emissão acústica [1] [2] já é utilizada,

nos EUA, em cilindros de grande porte, especialmente os utilizados em vagões e em caminhões. Outros métodos estão sendo desenvolvidos para estes cilindros e já existem alguns sistemas baseados no método ultra-sônico entrando no mercado.

As técnicas modernas de ensaios não destrutivos combinam novos sensores e transdutores com sistemas computadorizados [4] que permitem o controle preciso do sensoriamento, através de dispositivos de movimentação automática, a aquisição digital de sinais, o processamento desses sinais [5] e interfaces amigáveis com o usuário.

Os equipamentos convencionais de ensaios não destrutivos por ultra-som (ENDUS) utilizam um transdutor de ultra-som operando em modo pulso-eco, para ondas longitudinais [6] ou ondas de cisalhamento. O sinal é mostrado, na forma de um *A scan*, numa tela de um osciloscópio. O operador move manualmente o transdutor sobre a peça a ser inspecionada e ao mesmo tempo observa o sinal na tela. A utilização desse tipo de equipamento na inspeção de uma peça com grande área superficial, como no caso dos cilindros, requer um longo tempo de inspeção e muita atenção por parte do operador. Defeitos provocados por corrosão, com diâmetros da ordem de 5 mm, são apontados na norma ABNT [3] como motivo para rejeição de um cilindro. Um sistema automático de inspeção pode executar o mapeamento de defeitos de um cilindro de gás industrial, típico, com medições a cada milímetro, totalizando cerca de um milhão de medidas de espessura, em menos de 1 minuto, por exemplo.

A instrumentação desenvolvida neste projeto visa a inspeção automática de cilindros, identificando os defeitos críticos, aumentando a confiabilidade no uso de cilindros para gases industriais, reduzindo os custos operacionais das indústrias envolvidas nesse mercado, e consequentemente aumentando a competitividade.

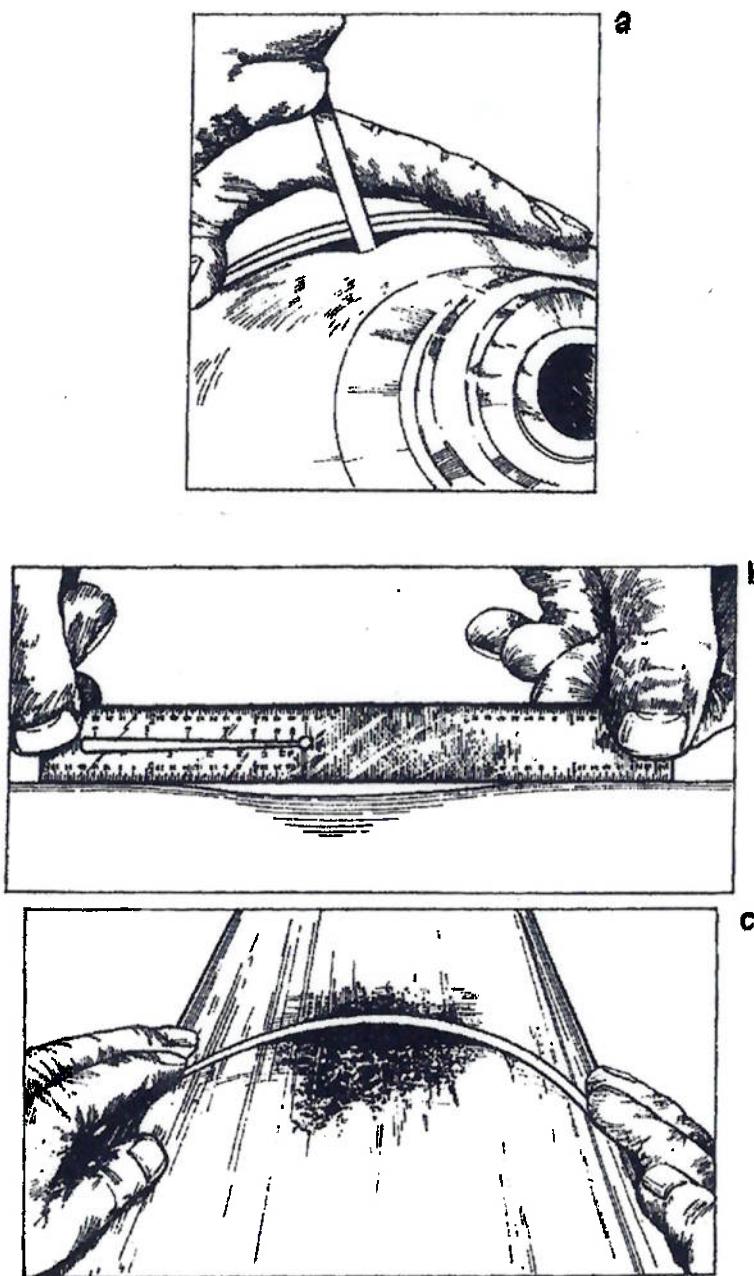


Figura 1 - Medição da mossa identificada pela inspeção visual externa: a) medição da profundidade; b) medição do comprimento; c) medição da largura.

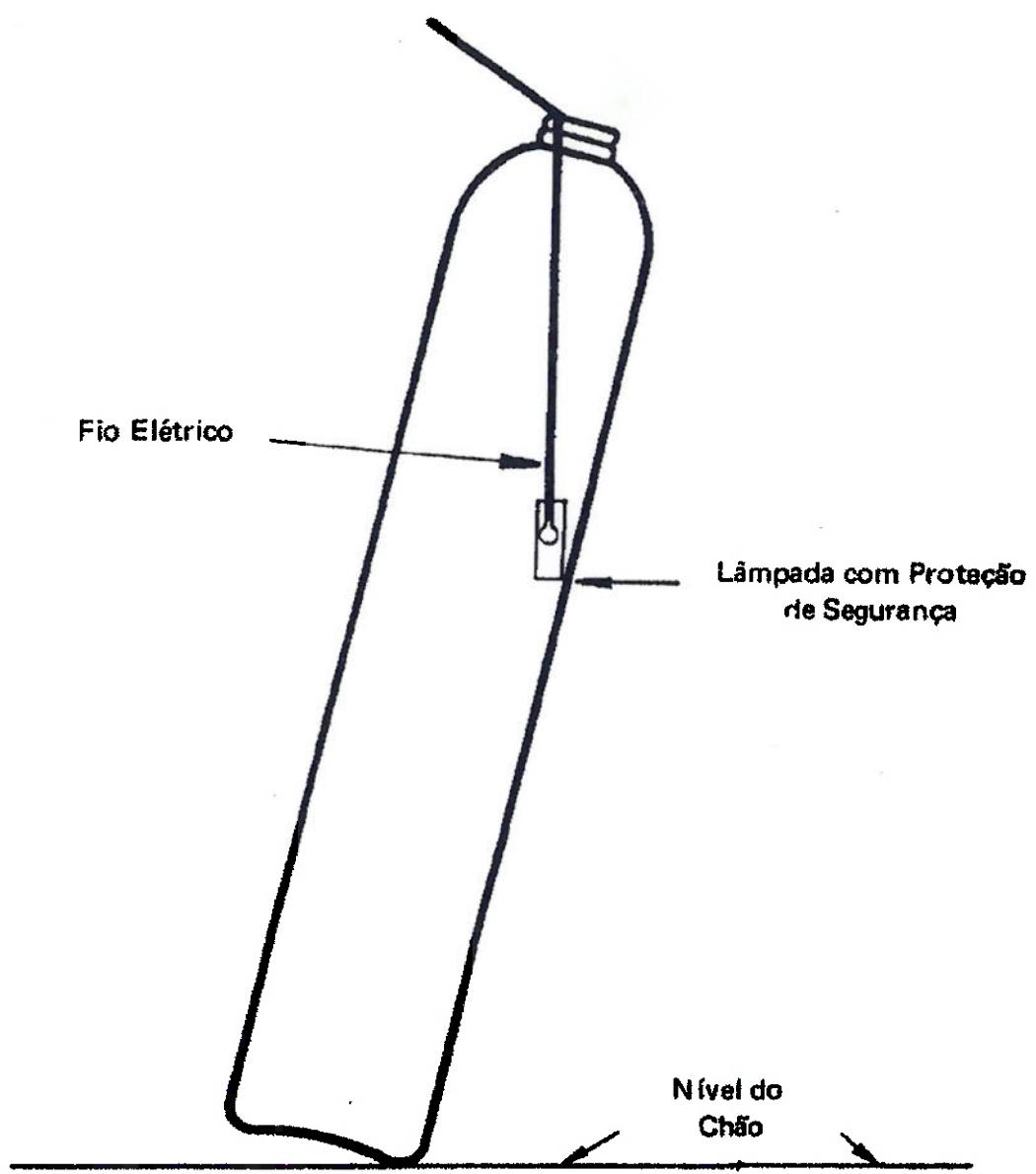


Figura 2 – Ilustração mostrando o uso de uma lâmpada com proteção para realizar a inspeção interna

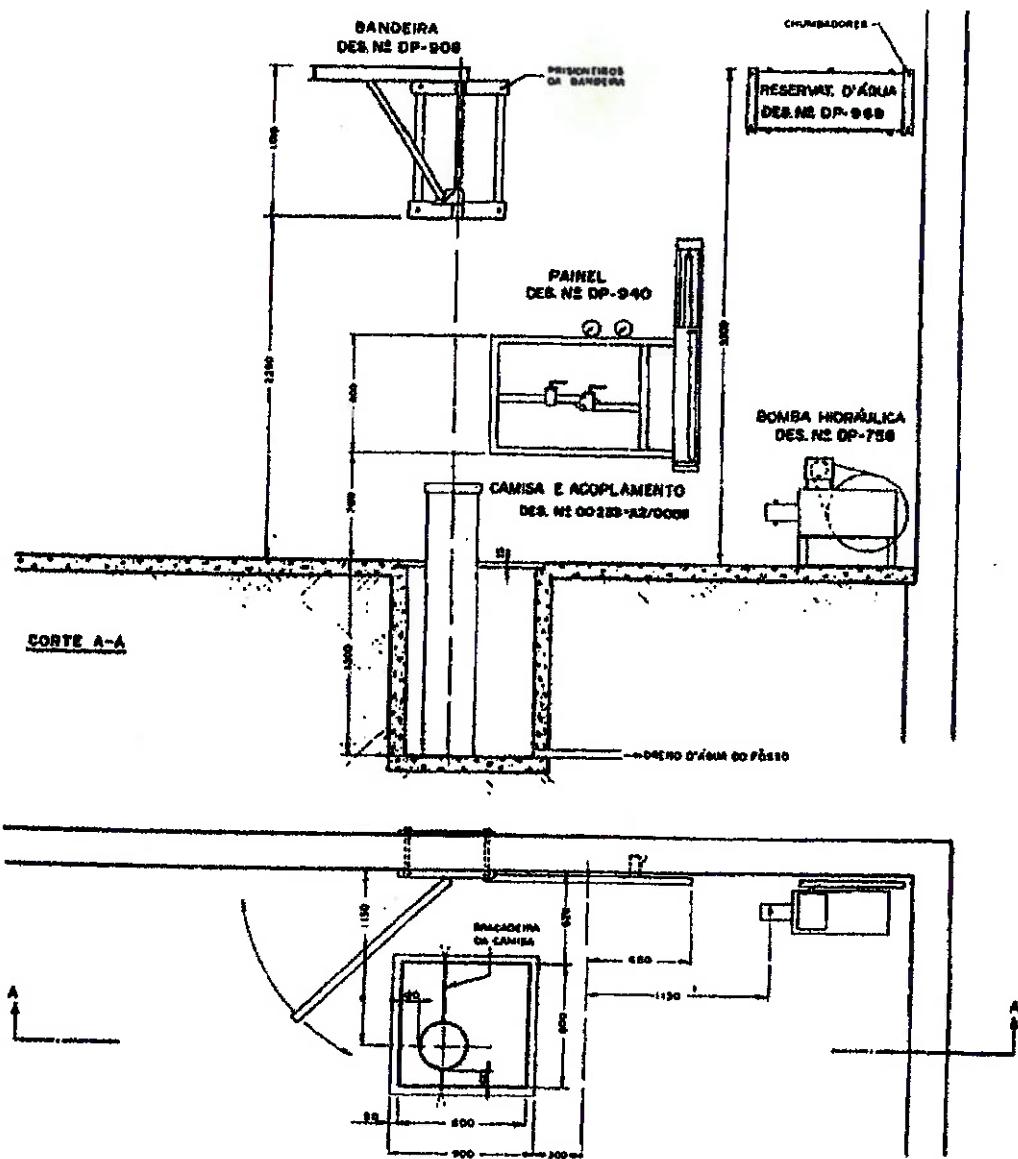


Figura 3 – Instalação típica para teste hidrostático

2. Estabelecimento da Necessidade e Especificações Técnicas

O equipamento a ser projetado deve realizar a inspeção automática destes cilindros, identificando e classificando os defeitos comprometedores da segurança operacional, permitindo a sua retirada de circulação. O sistema deverá ser transportável, permitindo o deslocamento entre diversas unidades de recarga de cilindros de gases existentes em uma determinada região ou cidade.

A inspeção dos cilindros e detecção de defeitos deve superar economicamente e em confiabilidade todos os outros métodos atuais de inspeção. Os testes convencionais de inspeção apresentados na introdução possuem deficiências intrínsecas no controle da integridade estrutural dos cilindros, quase a totalidade deles dependente do operador e de suas condições psíquicas e físicas.

O teste do martelo, por exemplo, exige uma atenção e um discernimento muito aguçados do operador. A batida do martelo deve ser realizada com uma determinada intensidade, bem como a distinção entre o ruído de um cilindro bom e o de outro ruim é muito tênué.

O mesmo ocorre com a inspeção interna, na qual o operador analisa um grande número de cilindros por dia, com difícil acesso visual e submetido à luz brilhante de uma lâmpada. No caso do teste hidrostático, defeitos críticos como a corrosão localizada e trincas superficiais são de difícil identificação.

O mercado para este tipo de inspeção não é pequeno. Atualmente, o inventário de cilindros de gases de alta pressão no Brasil é de cerca de 1,2 milhões de unidades,

manipuladas por dezenas de empresas engarrafadoras e um número ainda maior de usuários finais, como usuários de gases industriais (solda, corte, etc.), a indústria de refrigerantes, o Corpo de Bombeiros (cilindros de ar comprimido, extintores de incêndio), a rede hospitalar (oxigênio, ar comprimido, nitrogênio, etc.), usuários de gás automotivo, as atividades de mergulho, etc.

A obrigatoriedade de inspecioná-los a cada 5 anos resulta num total mensal de aproximadamente 20.000 ensaios. Este mercado é disputado por várias indústrias produtoras de gases que se estruturaram para realizar estes serviços e as empresas prestadoras deste serviço de inspeção, atuando como terceirizadas.

O tipo de inspeção realizada pelo equipamento proposto ainda incorre numa redução de custos considerável. Dos testes convencionais apresentados anteriormente, a inspeção visual interna e o ensaio hidrostático são os que envolvem os maiores custos, especialmente devido à preparação do cilindro para sua inspeção.

Para realizar estes testes, deve-se despressurizar totalmente o cilindro, remover o gás do seu interior, especialmente nos casos em que este gás é tóxico ou inflamável, remover a válvula e realizar uma limpeza interna.

Após a realização dos testes, o cilindro deve ser preparado para voltar à operação, sendo necessária a remoção completa da água e a introdução de um gás inerte para o deslocamento do ar. Todas estas etapas, bem como a retirada do cilindro da linha de produção por longos períodos, implicam em uma sistemática de trabalho pouco eficiente e de alto custo.

O teste por ultra-som não necessita da retirada do gás, nem mesmo da retirada da válvula, e o tempo longe da linha de produção é reduzido drasticamente.

Um cálculo realizado em [9] com números conservadores prevê que a inspeção de um cilindro no teste hidrostático custa entre treze e quinze dólares, enquanto que no

teste de ultra-som custa entre três e quatro dólares. Além disso, em testes realizados, verificou-se que todos defeitos detectados pelo teste hidrostático foram detectados pelo teste ultra-sônico, enquanto que alguns defeitos detectados pelo último não foram detectados pelo teste hidrostático. Assim, se o equipamento a ser projetado tiver um preço próximo ao do equipamento de teste hidrostático, será viável economicamente.

O equipamento deverá inspecionar primeiramente apenas um tipo de cilindro, sendo utilizados equipamentos com outras dimensões para os outros tipos de cilindros. O cilindro a ser inspecionado tem as seguintes dimensões:

- altura: 1300 ± 100 mm
- diâmetro: 230 ± 20 mm
- espessura da parede: 5 a 7 mm
- massa: 60 ± 10 kg

O equipamento deve identificar os tipos de defeitos de acordo com norma ABNT - NBR 12274-1995: corrosão isolada, corrosão localizada, rachadura superficial, mossa, etc.

A inspeção deve durar no máximo 5 minutos. A resolução do sistema deve ser de no mínimo 1mm de incremento na varredura no diâmetro, 1 mm de incremento na varredura na altura e 0,1 mm na medição de espessura.

O sistema de varredura da parede do cilindro deve ter dois graus de liberdade (radialmente e axialmente ao cilindro), utilizando um cabeçote com transdutores de ultra-som.

A unidade sensora ultra-sônica será composta por um conjunto de 5 transdutores de ultra-som, de tal forma que em uma única passagem, todos os defeitos relevantes sejam identificados e quantificados:

a) 1 Transdutor normal, com freqüência da ordem de 10 Mhz, que emite ondas longitudinais de ultra-som normais à superfície do cilindro, medindo a espessura de parede do cilindro.

b) 2 Transdutores angulares para rachaduras longitudinais, com freqüência da ordem de 5 Mhz, que emitem ondas de cisalhamento com um ângulo de 60° em relação à normal à superfície do cilindro (neste ângulo, a parte transmitida da onda para dentro do cilindro é de 15% da onda emitida - vide figura 4 [8]). Procuram defeitos planares que estejam orientados longitudinalmente no corpo do cilindro. Estes sensores também permitirão a detecção de rachaduras no fundo e na cabeça do cilindro.

c) 2 Transdutores angulares para rachaduras transversais, com freqüência da ordem de 5 Mhz, que emitem ondas de cisalhamento com ângulo de 60° em relação à normal à superfície do cilindro. Procuram defeitos planares que estejam orientados transversalmente ao corpo do cilindro.

Os transdutores funcionam em modo pulso–eco, sendo a detecção de defeitos diferente para cada tipo de transdutor (veja figuras 5 e 6):

a) Para o transdutor normal, uma onda longitudinal é emitida. A primeira reflexão se dá na parede externa do cilindro (primeiro eco) e a segunda reflexão se dá na parede interna do mesmo (segundo eco). O transdutor recebe estes ecos e a espessura da parede do cilindro é calculada multiplicando-se o tempo de vôo da onda entre os ecos e a velocidade da onda no aço.

b) Para os transdutores angulares, uma onda longitudinal é emitida num ângulo de 22,5° com a normal da parede do cilindro. Neste ângulo, 15% da onda é transmitida para o cilindro, na forma de onda transversal. Esta onda se reflete entre as superfícies interna e externa da parede do cilindro até que encontra um defeito e é refletida (eco). O transdutor recebe este eco e a posição do defeito é calculada considerando a trajetória da

onda fora e dentro do cilindro, as velocidades desta onda fora e dentro do cilindro e o tempo de vôo da mesma.

O funcionamento dos transdutores deve ser verificado antes de cada inspeção, inspecionando-se um cilindro (ou parte de um cilindro) que contenha os rasgos de acordo com a norma ISO/CD 9809 (vide figura 7).

O acoplamento entre os transdutores de ultra-som e a superfície do cilindro deve ser água ou óleo solúvel, para que a onda de ultra-som percorra a trajetória desejada e retorne ao transdutor. A estrutura mecânica do equipamento deve ser então de aço com proteção anti-corrosão. O equipamento deve ter um reservatório para este líquido e também deve ter um dispositivo que mantenha este líquido na interface entre os transdutores e a superfície do cilindro.

A alimentação elétrica do sistema deve ser de 110/220 V, 60 Hz.

O sistema de hardware (ou unidade eletrônica de processamento) deve controlar o funcionamento dos transdutores e processar o sinal recebido por eles. Deve ter uma interface com os acionamentos dos motores e entradas de sensores de posição e chaves de segurança, assim como uma saída para comunicação com um microcomputador.

O software do sistema é desenvolvido com o programa LABWINDOWS e deve fazer uma análise automática dos defeitos e o estado do cilindro será classificado de acordo com a norma [3]. Além disso, permitirá a visão planificada do cilindro, indicando-se em cores as espessuras em cada ponto do cilindro. Em qualquer seção selecionada, poderá ser visualizado o perfil de espessuras. Para tal deve realizar aquisição e armazenagem de dados, processamento e classificação de defeitos, interface homem/máquina, impressão e interface serial.

O processamento de sinais eliminará possíveis ruídos referentes a ecos espúrios e à perda de ecos para que sejam atingidos os requisitos de alta confiabilidade nos

resultados obtidos, especialmente na emissão de laudos da situação estrutural dos cilindros.

O sistema deve garantir a segurança do operador durante seu funcionamento a todo momento. O equipamento deve permitir a fácil colocação e retirada dos cilindros a serem testados.

O produto final será formado pelas seguintes partes físicas:

- * Estrutura mecânica com sistema de fixação (e movimentação, se necessário) do cilindro, com unidade sensora composta por um conjunto de transdutores de ultra-som;
- * Gabinete com unidade eletrônica de processamento, computador, monitor, teclado e mouse.

O sistema deve funcionar da seguinte forma:

- * O operador coloca o cilindro na posição para a inspeção, fixando-o adequadamente na estrutura mecânica da instrumentação;
- * O operador faz uma marca manual no cilindro, indicando a posição angular (θ) inicial, de acordo com o sensor de posição de início de varredura;
- * Do painel de controle aciona-se o cabeçote, que irá se deslocar para o ponto de início da inspeção;
- * Ao comando de início da inspeção, a unidade sensora começa a se deslocar em relação ao cilindro, fazendo com que os sensores de ultra-som realizem uma trajetória helicoidal sobre a superfície do cilindro, primeiramente verificando o funcionamento dos transdutores (calibração do sistema) e depois inspecionando defeitos;

- * Ao atingir o valor mínimo da cota Z (altura do cilindro), que foi pré-selecionado, o equipamento encerra a inspeção, mostrando os defeitos com cotas em Z e de valor angular θ , em uma vista planificada do cilindro;
- * Ao encerrar a inspeção, o equipamento emite um sinal sonoro e retorna o cabeçote à posição inicial, permitindo a extração do cilindro inspecionado, bem como a colocação de um outro.

E_{\parallel} and E_{\perp} , echo transmittances versus angles of waves in steel, α_i and α_t , respectively (Eqs. (A16) and (A17))

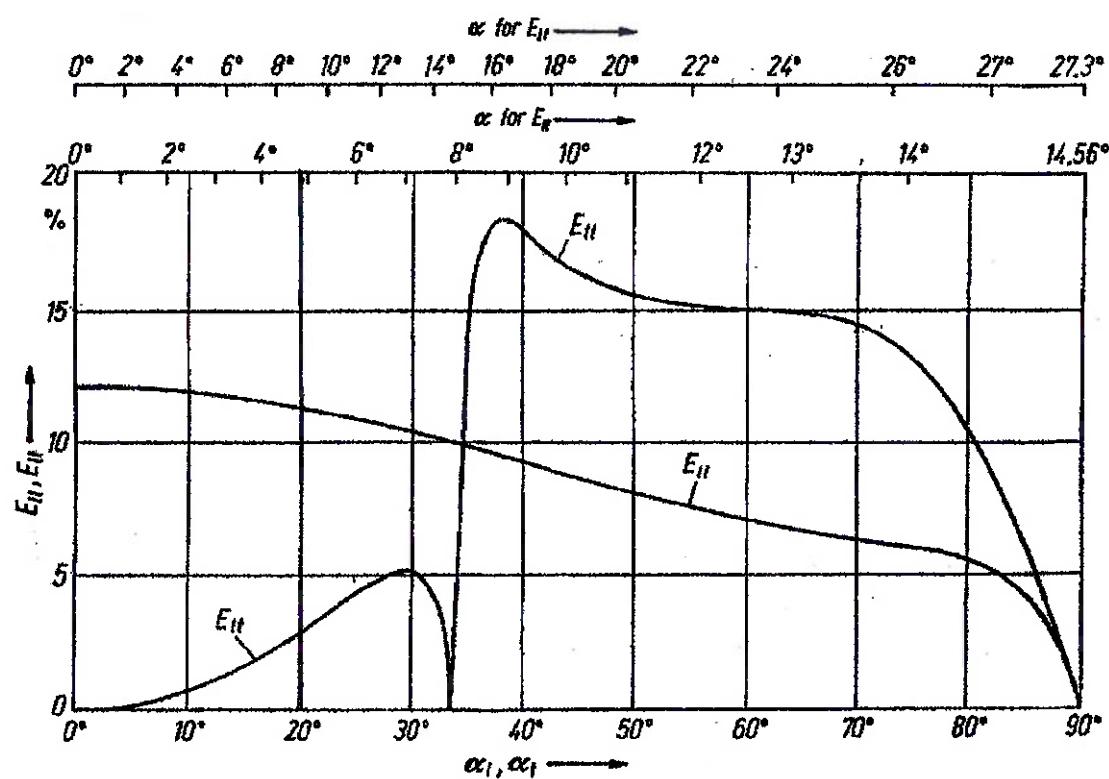


Figura 4 - Gráfico de transmissão de eco com interface água - aço

TRANSDUTOR COM ONDAS LONGITUDINAIS

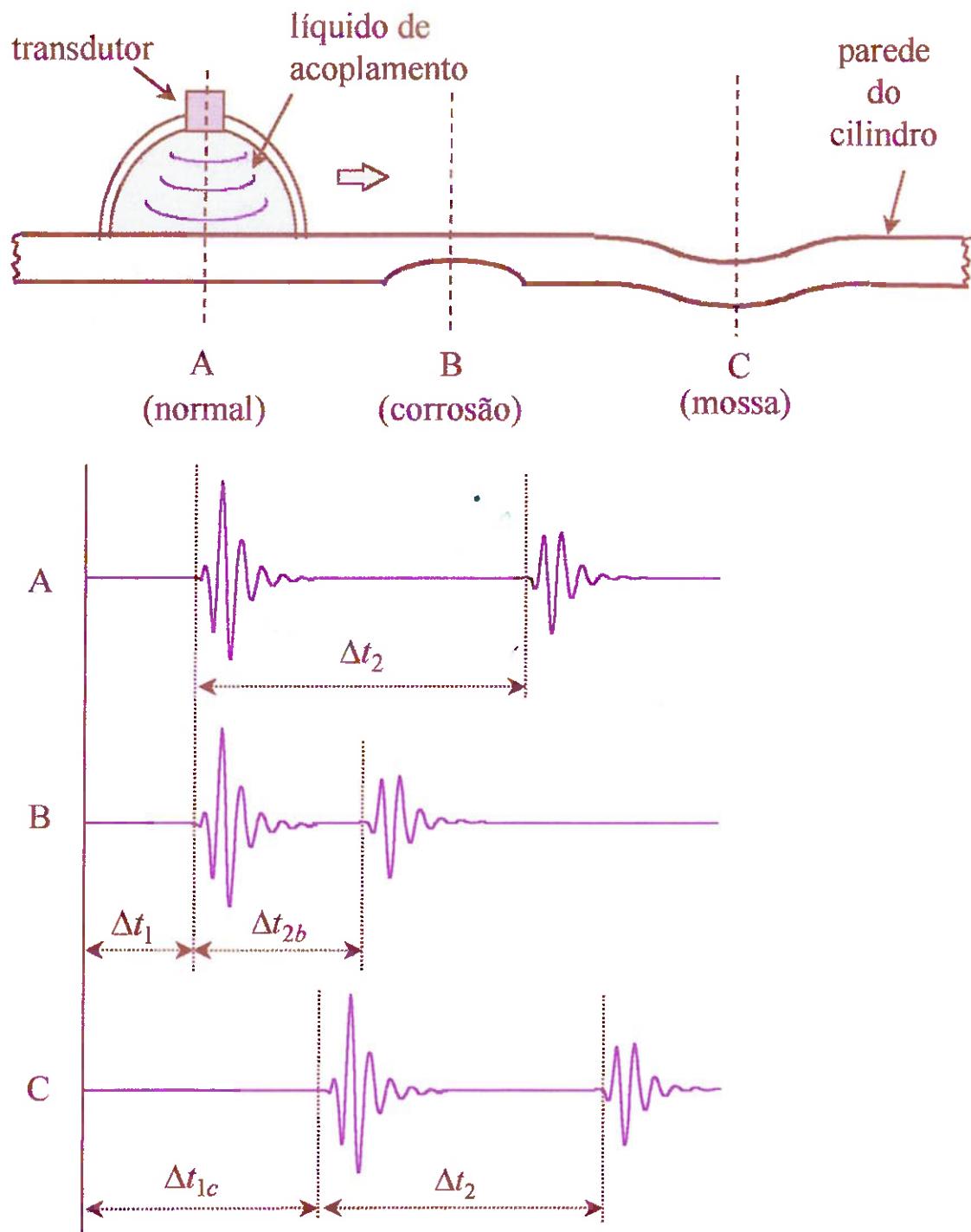


Figura 5 – Exemplos de sinais do transdutor longitudinal para a) superfície normal; b) com corrosão e c) com mossa.

TRANSDUTOR DE ONDAS LONGITUDINAIS GERANDO ONDAS TRANSVERSAIS

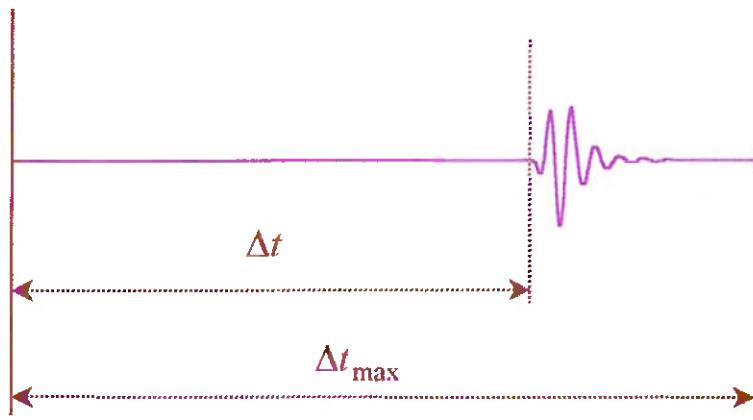
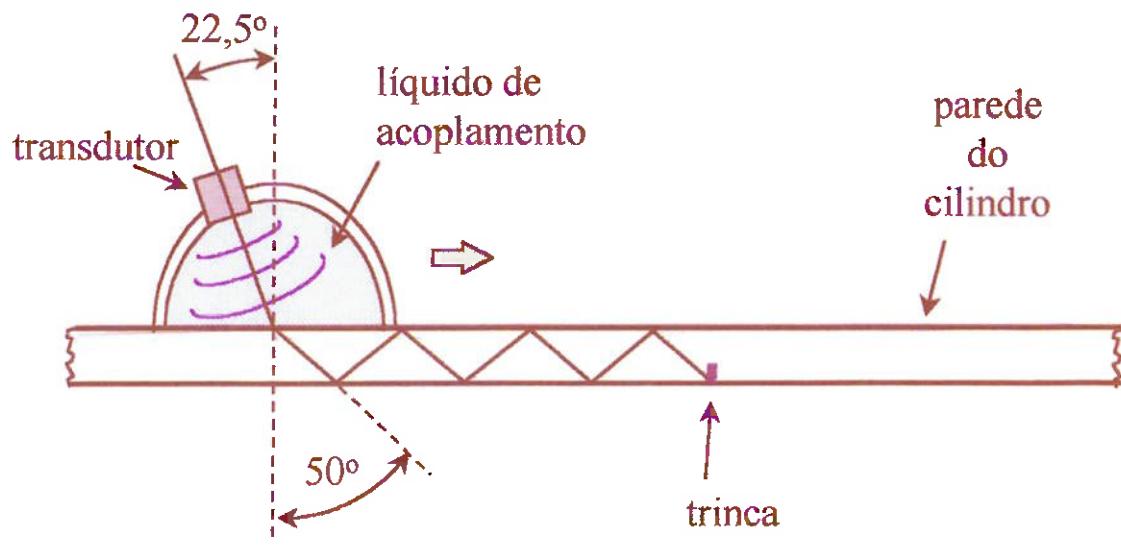
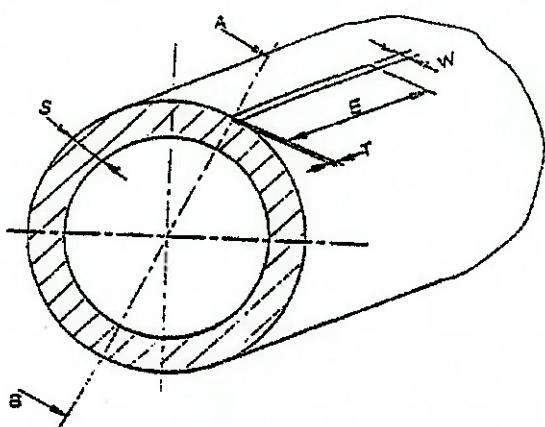


Figura 6 – Exemplos de sinal de um transdutor transversal na presença de uma trinca.

ISO/DC 9809



$T \leq (5 \pm 0,75) \% \quad S \text{ but } \leq 1 \text{ mm}$

$W \leq 2T \quad E \leq 50 \text{ mm}$

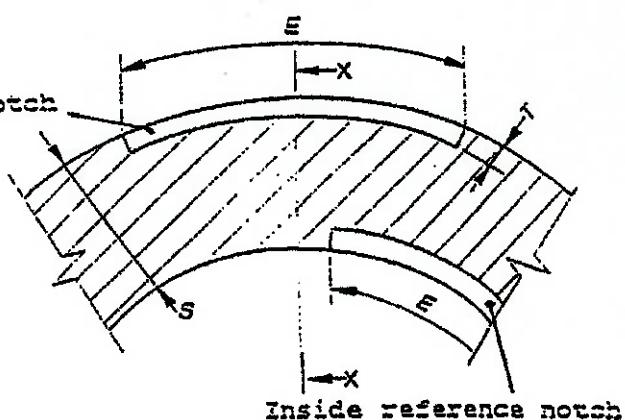
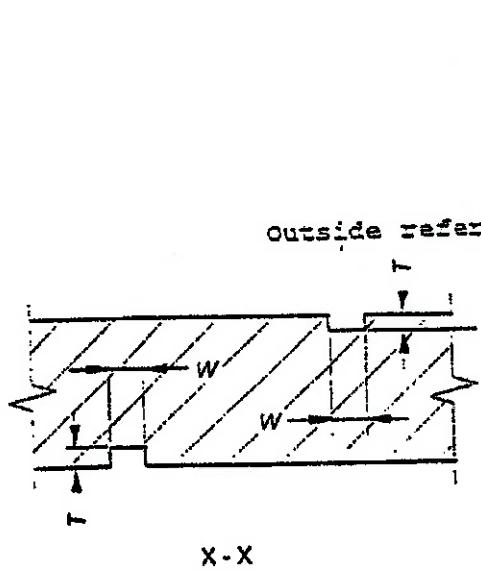
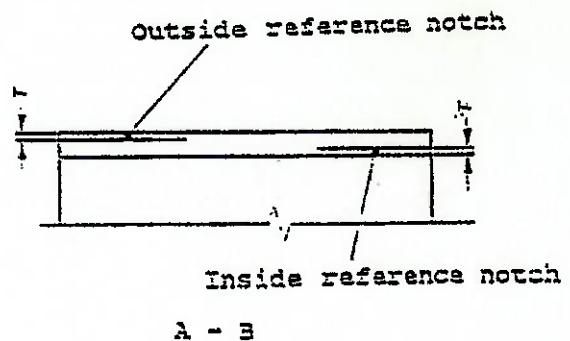


Figura 7 – Rasgos definidos pela norma ISO/CD 9809

3. Aspectos a serem considerados

Definidas as necessidades, se faz necessário considerar certos aspectos fundamentais do equipamento a ser projetado. Destes aspectos depende o resultado do projeto:

a) Especificação do dispositivo de varredura:

* Movimentação da unidade sensora;

* Formato da unidade sensora;

b) Estrutura do equipamento;

c) Sistema de armazenamento e circulação de líquido de acoplamento acústico;

d) Sistema de calibração dos transdutores;

e) Sistemas de acionamento;

O projeto do sistema de hardware não faz parte do escopo do projeto realizado pelo aluno e será feito após a conclusão da parte mecânica do projeto. O projeto do software depende do sistema de hardware, sendo então analisado na próxima etapa do projeto.

4. Geração de Alternativas

Para cada aspecto levantado deve-se gerar e analisar soluções, para que se tenha várias alternativas a escolher. Estas soluções devem satisfazer as necessidades impostas ao projeto e devem ser exequíveis fisicamente e economicamente.

4.1. Especificação do Dispositivo de Varredura

O dispositivo de varredura deve ter uma unidade sensora que contenha os transdutores de ultra-som de forma a detectar todos os defeitos no ponto de inspeção de uma só vez e que percorra uma trajetória helicoidal em relação à superfície do cilindro, para varrê-la por completo.

4.1.1. Movimentação da unidade sensora

O movimento relativo a ser executado entre a unidade sensora e a superfície do cilindro pode se dar de quatro maneiras, como no esquema a seguir:

- a) A unidade sensora fica em repouso, enquanto o cilindro é girado e ao mesmo tempo, movimentado axialmente, de forma a realizar o movimento relativo desejado;
- b) O cilindro fica em repouso, enquanto a unidade sensora realiza o movimento helicoidal previsto;
- c) O cilindro é girado enquanto a unidade sensora se movimenta axialmente em relação ao cilindro;
- d) A unidade sensora gira em torno do cilindro, enquanto este se movimenta axialmente.

4.1.2. Formato da unidade sensora

Para que todos os defeitos sejam analisados durante uma única passagem da unidade sensora sobre um ponto da superfície do cilindro, todos os transdutores devem estar próximos e alinhados, de forma a que a inspeção deste ponto seja feita no mesmo instante por todos eles. Todos os formatos devem garantir a presença a todo momento do fluido de acoplamento entre os transdutores e a superfície do cilindro. A unidade sensora pode ter os seguintes formatos, como no esquema a seguir:

- a) Em contato com o cilindro: deve ter uma cavidade para manter o líquido de acoplamento e um formato que acompanhe o da lateral do cilindro, vedando assim a interface transdutor-superfície do cilindro; deve ter também um sistema que acompanhe as irregularidades do cilindro (o cilindro não é perfeitamente cilíndrico);
- b) Distante do cilindro: não necessita ter um formato que acompanhe o da lateral do cilindro, mas para manter o líquido de acoplamento na interface, unidade sensora e a parte analisada do cilindro devem estar submersos no líquido, o que pode ser conseguido se o cilindro estiver na horizontal e a unidade sensora sob o mesmo.

4.2. Estrutura do Equipamento

A estrutura do equipamento depende da especificação do dispositivo de varredura. Assim para cada alternativa, há uma solução:

- a) Se só a unidade sensora se movimenta, o cilindro deve ser fixado para que a unidade sensora se movimente sobre ele sem movê-lo. O cilindro pode ficar tanto na horizontal quanto na vertical, sendo que na vertical facilita a colocação e a retirada do mesmo. Deve haver espaço suficiente ao redor do cilindro para a passagem do sistema de movimentação da unidade sensora;
- b) Se só o cilindro se movimenta, este deve fazê-lo horizontalmente, pois deste modo a operação se dá com maior segurança, a máquina fica com uma altura mais baixa e a colocação e a retirada do cilindro se dá mais facilmente;
- c) Se o cilindro se movimenta verticalmente, deve fazê-lo horizontalmente pelas mesmas razões do item anterior; além disso, deve haver espaço em torno do cilindro para a passagem do sistema de movimentação da unidade sensora;
- d) Se a unidade sensora se movimenta verticalmente, deve haver espaço para este movimento no lado em que o mesmo se dá; Se o cilindro gira e não translada verticalmente, a sua fixação deve impedir este movimento; Assim, o cilindro deve ser fixado na vertical, pois assim fica mais fácil sua fixação, colocação e retirada.

4.3. Sistema de Armazenamento e Circulação do Líquido de Acoplamento Acústico

Há duas possibilidades no projeto deste sistema: quando a unidade sensora está em contato com o cilindro ou quando está à distância, o que faz com que a mesma esteja imersa no líquido de acoplamento:

- a) A unidade sensora está em contato com o cilindro: para este sistema, é necessário um reservatório, um circuito hidráulico para levar o fluido de acoplamento à interface e um sistema de captação deste fluido, após o mesmo passar pela interface, para levá-lo de volta ao reservatório;
- b) A unidade sensora está imersa: neste caso, o cilindro está na horizontal e parte dele também está imersa no fluido de acoplamento. Durante a inspeção o fluido permanece em um nível em que se garanta que a esta imersão ocorra. Neste caso, seria preferível que houvesse circulação de fluido, para que se pudesse filtrá-lo e reservá-lo quando da colocação e retirada do cilindro.

4.4. Sistema de Calibração dos Transdutores

Para que se teste o funcionamento dos transdutores, é necessário testá-lo com uma peça padrão, que tem o mesmo diâmetro e espessura de parede do cilindro a ser testado, e rasgos padrões a serem detectados. Para isso, são possíveis 3 alternativas:

- a) A utilização de um cilindro ou parte de um cilindro provido destes rasgos padrão, que seria colocado na máquina e inspecionado antes de cada inspeção normal;
- b) A utilização de uma parte de cilindro que seria fixada numa certa região do equipamento na qual poderia ser inspecionada pelos transdutores. Assim, esta peça seria inspecionada antes de cada inspeção normal com a vantagem de não se precisar colocar ou tirar peças extras a cada inspeção;
- c) Esta peça de calibração sendo parte do sistema de fixação do cilindro, solução que teria as mesmas vantagens do item anterior, mas que facilitaria também o projeto da fixação do cilindro.

4.5. Sistemas de Acionamento

O projeto dos sistemas de acionamento depende da escolha da movimentação da unidade sensora e, consequentemente, da escolha da estrutura do equipamento. Para cada alternativa, pode-se gerar soluções para o acionamento necessário:

a) Para a movimentação da unidade sensora:

- a.1) utilização de motores de passo tanto para o movimento radial quanto para o movimento axial;
- a.2) utilização de um motor de passo para o movimento axial e de um motor AC com redução para o movimento radial.

b) Para a movimentação do cilindro:

- b.1) utilização de um motor AC com redução para o movimento radial (rotação);
- b.2) utilização de um motor AC com um sistema de transmissão para rebolos de borracha que, em contato com o cilindro, fariam-no movimentar-se radialmente;
- b.3) utilização do mesmo sistema do item anterior, mas adicionando-se um movimento axial ao cilindro, inclinando-se os rebolos ou projetando-se uma fixação que permita puxar o cilindro ao mesmo tempo em que é rodado;
- b.4) utilização do sistema com rebolo, mas com o mesmo orientado na direção axial, fazendo o cilindro transladar axialmente;

5. Síntese de Soluções

Com as alternativas propostas no item anterior, pode-se assim produzir soluções fazendo as combinações possíveis destas alternativas. As soluções geradas visam as melhores combinações:

- a) Equipamento com sistema de varredura em que somente a unidade sensora se movimenta; com a mesma em contato com o cilindro; a estrutura prevê que o cilindro seja fixado verticalmente; com unidade sensora com cavidade para o líquido de acoplamento; com peça de calibração fazendo parte do equipamento; com motores de passo para acionamento do sistema de varredura;
- b) O mesmo do anterior, com motor de passo para o movimento axial da unidade sensora e motor AC para o movimento radial;
- c) Equipamento com sistema de varredura em que somente o cilindro se movimenta; com a unidade sensora à distância do cilindro; a estrutura prevê que o cilindro se movimente horizontalmente; com imersão da unidade sensora no líquido de acoplamento; com peça de calibração não fazendo parte do equipamento; com motor AC com rebolos inclinados;
- d) O mesmo do anterior, com unidade sensora em contato com o cilindro;
- e) Equipamento com sistema de varredura em que o cilindro se movimenta axialmente e a unidade sensora radialmente; com a unidade sensora à distância do cilindro; a estrutura prevê que o cilindro se movimente horizontalmente; com unidade sensora imersa no líquido de acoplamento; com peça de calibração não fazendo parte do

equipamento; com motor de passo para acionamento da unidade sensora e motor AC com rebolo na direção axial para o cilindro;

f) Equipamento com sistema de varredura em que o cilindro se movimenta radialmente e a unidade sensora axialmente; com a unidade sensora em contato com o cilindro; a estrutura prevê que o cilindro seja fixado verticalmente; com unidade sensora com cavidade para o líquido de acoplamento; com peça de calibração fazendo parte do equipamento; com motor de passo para acionamento da unidade sensora e motor AC para rodar o cilindro;

g) Equipamento com sistema de varredura em que o cilindro se movimenta radialmente e a unidade sensora axialmente; com a unidade sensora à distância do cilindro; a estrutura prevê que o cilindro seja fixado horizontalmente; com unidade sensora imersa no líquido de acoplamento; com peça de calibração fazendo parte do equipamento; com motor de passo para acionamento da unidade sensora e motor AC com rebolo na direção axial para o cilindro;

6. Escolha da Melhor Solução

É necessária então a escolha da melhor solução, dentre todas as consideradas viáveis física e economicamente. Esta escolha é feita com uma matriz de soluções, na qual as propriedades de cada solução são avaliadas e ponderadas, fornecendo um número como resultado. Este número é a média ponderada das propriedades de cada solução. A que tiver melhor média será a solução escolhida.

Para tal, deve-se escolher quais propriedades serão avaliadas. O resultado está na tabela 1. A seguir, estão as que foram consideradas mais relevantes:

- a) Segurança para o operador;
- b) Complexidade de fabricação e projeto: mede a dificuldade técnica de se projetar e fabricar por completo o equipamento. Notas altas significam baixa complexidade;
- c) Facilidade de operação;
- d) Custo de Fabricação: inclui custos de compra de componentes, tempo de usinagem e tempo necessário para a fabricação do protótipo;
- e) Dimensões: quanto mais compacto o equipamento, melhor a sua nota;
- f) Facilidade de Transporte: O equipamento deve ser transportável;
- g) Facilidade de Manutenção;

Propriedades	Alternativa	Peso	A	B	C	D	E	F	G
			Nota						
Segurança para o Operador	2	6	6	4	4	5	5	8	8
Complexidade de Fabricação e Projeto	3	5	4	5	4	4	4	7	6
Facilidade de Operação	1	7	7	6	7	8	8	8	7
Custo de Fabricação	3	5	4	5	4	4	4	6	5
Dimensões	1	8	7	9	9	8	8	7	6
Facilidade de Transporte	2	8	8	9	9	8	8	8	7
Facilidade de Manutenção	2	5	6	5	4	5	5	6	6
Média	5,9	5,6	5,8	5,3	5,4	7,0	6,3		

Tabela 1

7. Descrição da Solução

A seguir, será descrita a especificação para cada aspecto levantado no item 4. Os desenhos de conjunto e de fabricação estão presentes em anexo.

7.1. Especificação Detalhada do Dispositivo de Varredura

O dispositivo de varredura consiste do sistema que movimenta a unidade sensora em relação à parede do cilindro. Escolhida a alternativa “f”, agora deve-se detalhar este sistema.

Para que este dispositivo de varredura se movimente verticalmente, definiu-se que seu acionamento se daria através de um motor de passo (400 passos/volta) acoplado a um fuso com castanha de esferas recirculantes (passo 5 mm/volta).

Este dispositivo de varredura é composto por um carro guiado por guias lineares, impulsionado pelo movimento giratório do fuso (que é acionado pelo motor de passo), e uma peça suporte dos transdutores, cujo formato permite o movimento em contato com o cilindro e mantém o líquido de acoplamento entre os transdutores e a parede do cilindro.

Como não se pode garantir que o cilindro tenha uma superfície totalmente regular, este sistema deve acompanhar estas irregularidades. Assim sendo, entre o suporte dos transdutores e o carro, foi projetado um mecanismo de guias com molas, que pode se movimentar com um certo curso.

7.2. Dimensionamento do Motor de Acionamento do Giro do Cilindro

Para dimensionar o motor, calculou-se a inércia a ser vencida para que o cilindro atinja a velocidade de ensaio. Como simplificação, adotou-se o cilindro como um tubo de aço, com diâmetro externo de $D = 235$ mm, diâmetro interno $d = 220,4$ mm e massa $M=70$ kg. O momento de inércia é dado por [8] (veja figura 8):

$$J_z = M \cdot (D^2+d^2) / 8 ; J_z \gg 1 \text{ kg.m}^2$$

Para se realizar a medição em 5 minutos, com medições a cada 1mm, o cilindro deve girar 1300 vezes neste período. Assim, a velocidade de rotação será $n = 1300$ rotações / 5 minutos » 260 rpm.

Um motor de baixa potência, com 1/8 CV, aceleraria este cilindro até a velocidade de regime (260 rpm) em 0,3 s (considerando que Potência = $J_z * \text{Aceleração Angular}$). Não foram consideradas perdas no sistema de transmissão e no contato do dispositivo de varredura com o cilindro. Assim sendo, um motor com esta potência é suficiente para o acionamento.

Para que o cilindro tenha a velocidade de regime requerida, uma redução de velocidade entre o eixo do motor e o eixo de acionamento do cilindro é necessária.

Como será visto adiante, há uma redução 3:1 proporcionada por polias entre os dois eixos. Mas essa redução não é suficiente, pois faria o cilindro girar a 600 rpm (considerando um motor de 4 pólos – velocidade de regime de aproximadamente 1800 rpm).

Assim, é necessária ainda uma redução de aproximadamente 2,3:1 entre o eixo do motor e o da polia motora. Inicialmente foi especificado um inversor de freqüência, que permitiria o controle da velocidade do motor.

Mas quando o protótipo foi testado, notou-se que a utilização deste inversor de freqüência provocou ruído eletromagnético na parte eletrônica do equipamento (devido ao chaveamento da tensão no inversor) e, por isso, o inversor teve de ser descartado.

Ainda nos testes com o inversor conectado ao sistema, pode-se verificar qual seria uma velocidade adequada à inspeção. Como resultado, a que causava menor vibração da estrutura do equipamento (devido ao desbalanceamento do sistema giratório) e ainda sim era alta o suficiente para uma inspeção rápida, era de 60 rpm.

Com esta rotação, o tempo previsto para inspeção aumentou para 22 minutos e a redução necessária aumentou para 10:1.

Com a retirada do inversor de freqüência, a solução foi a instalação de um motorredutor AC, com a nova relação de redução requerida.

A instalação deste motorredutor provocou alterações no projeto (veja conclusão).

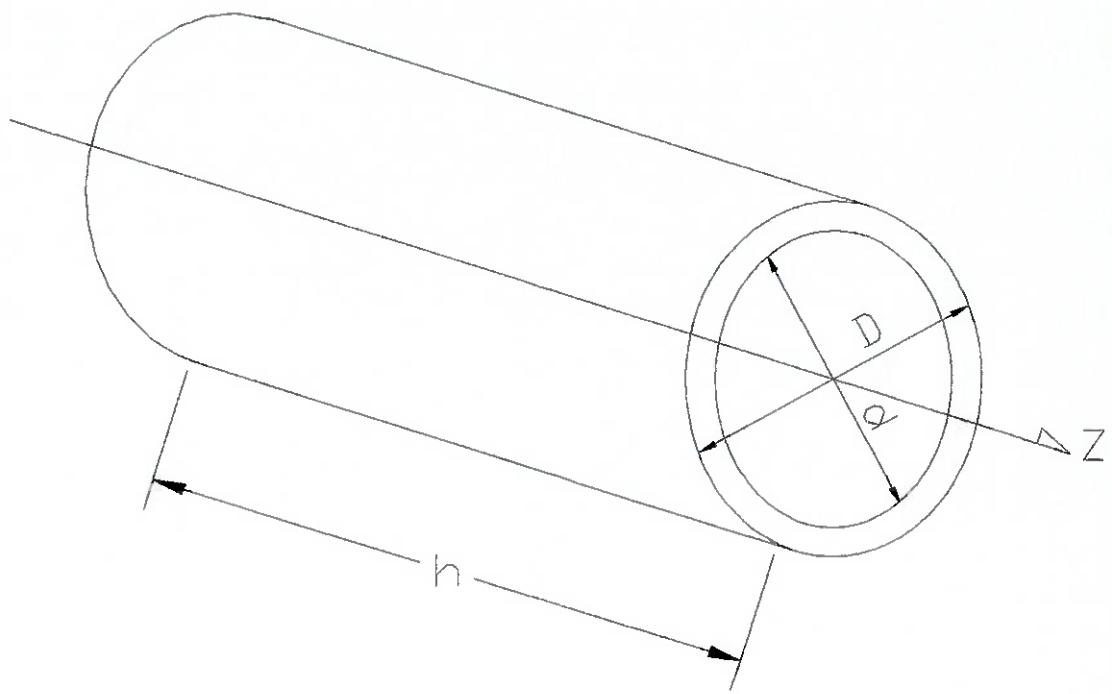


Figura 8 – Simplificação do Cilindro

7.3. Dimensionamento da Transmissão de Potência do Motor à Mesa Giratória

A mesa giratória é o vínculo inferior do cilindro, que aciona seu movimento giratório e na qual este se apoia.

Decidiu-se pela utilização de correias sincronizadoras para esta transmissão, devido à sua facilidade de instalação. Como já visto no item anterior, a relação de redução especificada foi de 3:1, o que reduz o custo das polias e da correia (polias para esta redução são mais facilmente encontradas no mercado).

Foram selecionadas uma polia motora tipo 16H100, uma polia movida tipo 48H100 e uma correia 480H100 (foi utilizado o método de seleção especificado nos manuais de polias sincronizadoras).

7.4. Especificação do Mancal da Mesa Giratória

O projeto deste mancal levou em conta os esforços gerados pela transmissão de potência das correias e o peso do cilindro, assim como a sua vedação, pois o processo de inspeção prevê a utilização de água como interface entre o cilindro e os transdutores. Uma consulta ao desenho de conjunto (em anexo) é suficiente para visualizar a configuração final do mancal.

O eixo, ao qual está fixada a polia movida, tem rosca em ambas as extremidades. Numa das extremidades está a mesa giratória e na outra o conjunto mancal e polia.

O mancal projetado visa integrar a parte giratória e a estrutura, e tem dois rolamentos, dimensionados de acordo com a referência [9]. O rolamento superior é de rolos cônicos e tem a função principal de suportar o peso do cilindro; o rolamento inferior é rígido de esferas, e visa principalmente suportar os esforços radiais da transmissão.

Para impedir o movimento vertical da polia, um espaçador fica entre a última e o anel interno do rolamento inferior.

O mancal é parafusado a uma chapa, a qual está soldada à estrutura. Para vedar o mancal do líquido utilizado na inspeção, existe uma peça que possui anéis de vedação.

Sobre a mesa giratória, é fixada uma peça de náilon que tem o formato da base do cilindro, sobre a qual este é colocado.

7.5. Especificação da Fixação Superior

A fixação superior é necessária para dar estabilidade ao giro do cilindro. Como decidiu-se utilizar como peça de calibração dos transdutores parte do sistema de fixação do cilindro, parte da fixação superior executará este papel.

Para tal, foi utilizado uma seção de um cilindro existente e nesta foram feitos rasgos, de acordo com a norma ISO/DC 9809 de forma que todos os transdutores pudessem ser calibrados.

Esta peça deve se movimentar verticalmente, para permitir que cilindros possam ser colocados e retirados da máquina, e deve girar juntamente com o cilindro.

Para permitir o movimento vertical, um eixo ligado à essa peça teria um mancal superior com rolamentos lineares. Para permitir o movimento de rotação, o mancal inferior deste eixo, fixado na peça de calibração, tem rolamentos de esferas rígidos.

7.6. Especificação da Estrutura Mecânica

Uma estrutura com uma massa considerável e rígida é desejável, para absorver a vibração decorrente da rotação do cilindro.

Logo, foram especificadas cantoneiras de aba de 2 polegadas e espessura de 3/8 de polegada para a construção da estrutura. Para a fixação de todas as peças do equipamento, foram ainda soldadas duas chapas de aço de ½ polegada de espessura.

Para facilitar a colocação dos cilindros para a inspeção, foi ainda colocada outra chapa semelhante, mas que contém um rasgo para permitir o acesso à mesa giratória.

Esta chapa adicional é fixada na estrutura com quatro peças fabricadas a partir de uma cantoneira, e por cada uma das quais passam 2 parafusos Allen M8. Um dos parafusos prende a placa à peça e o outro, a peça à estrutura.

A estrutura foi pintada com tinta epóxi (tratamento de superfície e pintura eletrostática). Com esta pintura, que é resistente a choques moderados (exemplo: os choques que podem ocorrer na colocação e retirada do cilindro de teste), a corrosão da estrutura é prevenida.

7.7. Especificação do Sistema de inspeção por Ultra-som

A peça de suporte dos transdutores, como já explicado, deve ter um formato que permita o movimento sobre o cilindro e que mantenha o líquido de acoplamento entre os transdutores e a parede do cilindro.

Projetou-se então uma peça de náilon que tem o formato da parede do cilindro e que tem um rasgo que permite que a interface entre os transdutores e a superfície do cilindro seja preenchida pelo líquido de acoplamento.

A injeção deste líquido é realizada por um furo nesta peça, entre o rasgo e a lateral da mesma, onde está rosqueada uma conexão. Esta liga a peça a uma mangueira flexível que transporta o líquido.

Os transdutores transversais emitem ondas ultra-sônicas longitudinais que, atingindo a superfície do aço num dado ângulo, transmitem ondas transversais a 50° para o aço. Com o ângulo escolhido, 23° no líquido de acoplamento, esta transmissão se dá com aproximadamente 15% da energia da onda emitida, como de pode ver na figura 4 [10].

Foram feitos furos no suporte dos transdutores para que o sinal enviado atinja a superfície no ângulo especificado.

7.8. Especificação do sistema de circulação de fluido de acoplamento acústico

Como já explicado, o fluido de acoplamento acústico é necessário na interface entre os transdutores e a parede do cilindro de teste.

Assim, é necessário armazenar este fluido de alguma forma e depois bombeá-lo ao suporte dos transdutores, que contém o rasgo a ser preenchido. Como o cilindro está em constante movimento e este suporte não está preso ao cilindro, parte do fluido é expelida do rasgo para o interior da estrutura.

Devido à alta velocidade de rotação do cilindro, este fluido é espirrado em praticamente todas as direções. Deste modo, é necessário coletar este fluido e armazená-lo, fechando assim o circuito de bombeamento.

Para proteger o operador e para coletar este fluido, foram fixadas chapas de acrílico nas laterais da estrutura, atrás da estrutura e em uma porta, que foi fixada na parte anterior da estrutura, de forma a permitir o acesso ao interior da máquina.

A porta projetada requeria o colocação de uma borracha mole em suas extremidades para vedar o espaço entre a porta e o equipamento. Mas a colocação desta borracha dificultou o fechamento da porta, não vedando corretamente o espaço já descrito.

Então foi projetado um quadro com o mesmo tipo de cantoneiras da porta, que é fixado à parede da estrutura e nele é fixada a borracha de vedação (veja o quadro no desenho de conjunto). Assim, o fechamento da porta é facilitado e a vedação funciona de forma mais satisfatória.

O líquido então é contido por estas chapas de acrílico e escorre sobre elas para baixo, até a chapa base.

Entre a chapa base e a chapa inferior da estrutura foi especificado um recipiente coletor, que foi fabricado em fibra de vidro. O líquido então escorre do rasgo da chapa base ao coletor.

Este coletor de fibra de vidro não funcionou adequadamente (ver conclusão). Verificou-se que parte do fluido que sai da interface dos transdutores com o cilindro escorre por partes da máquina pelas quais a coleção do fluido realizado por esta peça não era completa.

Esta peça foi retirada então do equipamento. A solução encontrada para resolver este problema foi transformar a cavidade em que a peça retirada se localizava num recipiente coletor, o que foi feito projetando peças de alumínio que vedam os espaços entre as cantoneiras (placas de reservatório).

O funcionamento deste sistema de coleção se mostrou satisfatório, impedindo por completo qualquer vazamento.

Um pequeno tanque em fibra de vidro foi fabricado para armazenar o fluido e se localiza entre a chapa inferior da estrutura e o solo. Assim, o líquido no coletor escorre por um furo no mesmo e na chapa inferior para o tanque. Todo o processo de coleta aproveita a gravidade para movimentar o fluido.

Uma bomba de imersão foi especificada para ficar dentro do tanque e conectada a uma mangueira que leva o fluido à interface transdutor-cilindro.

Foi utilizada uma bomba que fornece pressão suficiente para a máxima altura de bombeamento do fluido (da parte mais baixa da máquina ao final de curso superior) e uma vazão superior à necessária para preencher o rasgo da interface.

O funcionamento desta bomba de imersão resultou em ruído eletromagnético na parte eletrônica, e por isso, uma bomba de lavadora de roupas da BRASTEMP teve de ser utilizada, pois reduzia sensivelmente o ruído (ver conclusão).

Como o suporte dos transdutores se movimenta verticalmente, selecionou-se uma mangueira especial que acompanhasse este movimento e se encolhesse de forma a não se enrolar em outras peças do conjunto. A mangueira especificada tem um formato helicoidal, comportando-se assim como uma mola.

Assim, uma mangueira leva o fluido até a parte superior da máquina, e lá é conectada à mangueira helicoidal.

Para evitar a oxidação do cilindro foi especificado como fluido de acoplamento um óleo solúvel, o mesmo utilizado em máquinas de usinagem.

7.9. Especificação da Instalação dos Motores e Sensores

Existem dois motores na estrutura: o motorredutor que movimenta o cilindro e o motor de passo que gira o fuso, movendo os transdutores verticalmente.

A fixação do motorredutor na lateral da estrutura é feita por meio de um quadro (peça 18) fabricado com cantoneiras de aço. Este quadro é fixado à estrutura por 4 parafusos Allen M8 e tem dois rasgos, pelos quais passam os parafusos de fixação do motor.

A razão pela qual foram feitos rasgos e não furos foi para que se pudesse movimentar o motor horizontalmente através destes rasgos, permitindo a colocação e ajuste da correia.

O motor de passo é fixado por uma peça de alumínio (peça 60), que é fixada na parte superior do quadro onde estão fixados o fuso e as guias lineares por dois parafusos Allen M5. A conexão entre o eixo do motor de passo e fuso é feita pela peça 67.

Dois sensores são necessários: o sensor de referência de curso para o carro dos transdutores e o sensor contador de giros do cilindro. Estes sensores contém um emissor e um receptor de raios infravermelho. O sensor emite um sinal quando algo se coloca entre o emissor e o receptor, no caso, placas de alumínio.

O primeiro sensor é fixado no suporte superior do fuso (peça 63). A placa de metal é fixada no carro dos transdutores e interfere no sensor quando o carro se localiza no final de curso superior.

O segundo sensor é fixado na parte de baixo da placa inferior da estrutura e a placa de metal é fixada na borda superior da polia movida. Assim, a cada giro do cilindro, a placa interfere no sensor.

7.10. Especificação da Conexão com a Parte Eletro-Eletrônica

A parte eletro-eletrônica é constituída por um computador com monitor, teclado e mouse, placas de controle dos transdutores e de envio de sinal ao computador, inversor de freqüência e placa controladora do inversor de freqüência, motor de passo e bomba.

Estas placas eletrônicas foram encomendadas, pois seu projeto não é o escopo deste trabalho.

Todos estes componentes são montados num gabinete industrial que foi adquirido. Este fica localizado ao lado da máquina.

8. Teste do Protótipo

Primeiramente foram realizados testes de posicionamento do cilindro e de balanceamento do sistema giratório.

O cilindro de teste foi fixado na estrutura de forma a minimizar qualquer excentricidade com o eixo de rotação do equipamento. Foram feitas verificações desta excentricidade movimentando-se manualmente o cilindro. O cilindro é centralizado com o encaixe da peça superior de fixação (peça de calibração dos transdutores).

Verificou-se que a parede do cilindro é bastante irregular, o que resulta num maior desbalanceamento.

Ligando-se o motor e controlando a velocidade de rotação, verificou-se que o nível de vibração da estrutura do equipamento atinge proporções indesejadas quando o cilindro gira acima de 60 rpm, sendo necessária então uma diminuição da velocidade prevista em projeto, resultando num aumento do tempo de inspeção.

A seguir foram realizados os testes do funcionamento dos sensores e dos transdutores.

No teste do funcionamento dos sensores verificou-se se o hardware reconhecia o acionamento tanto do sensor de referência de curso quanto do sensor contador de giros.

No caso do sensor de curso, o carro de transdutores foi colocado numa posição intermediária do fuso e, acionando o motor de passo, este carro se movimentava para cima até que alcançasse o sensor.

Neste caso, o sensor seria ativado e a parte eletrônica do equipamento comandaria a parada do carro de transdutores, o que foi verificado. O funcionamento do

outro sensor foi verificado girando o cilindro e observando o acionamento do sensor percebido pela parte eletrônica.

O funcionamento dos transdutores foi testado conectando a saída dos mesmos a um gerador de pulso-eco e a um osciloscópio, e realizando rasgos de formatos diferentes na parede do cilindro.

Assim, pôde-se observar o sinal proveniente dos transdutores quando o carro de transdutores era posicionado de forma que os sinais dos rasgos fossem recebidos pelos transdutores.

O primeiro transdutor a ser testado foi o longitudinal. O sinal deveria conter dois pulsos, o primeiro sendo a reflexão da onda na parede exterior do cilindro e o segundo, a reflexão na parede interior.

A distância em tempo entre estes dois sinais deveria ser equivalente ao tempo de vôo da onda no aço para a espessura da parede do cilindro. Na figura 9 pode-se observar o gráfico adquirido do osciloscópio com uma placa GPIB e programa ACQ.M (projeto pelo professor Flávio Buiochi) no ambiente do software MATLAB.

Os dois pulsos (à direita no gráfico) são os pulsos previstos e o tempo de onda entre eles ($\sim 2,3$ ms) corresponde à duas vezes a espessura da parede do cilindro (~ 7 mm) dividido pelo tempo de vôo da onda no aço (6000 m/s):

$$\frac{2 \cdot 7 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{6000 \text{ m/s}} = 2,3 \mu\text{s}$$

Depois foram testados os transdutores de cisalhamento que inspecionam o cilindro na direção vertical. O rasgo para este teste foi feito radialmente ao cilindro com espessura de aproximadamente 1 mm.

O sinal proveniente deste rasgo deveria ser relativamente forte, devido à grande dimensão do rasgo. Veja as figuras 10 e 11.

Pode-se observar que após o pulso (lado esquerdo dos gráficos), à vários ecos, até o tempo de 45 ms, o que aparece em todos os transdutores de cisalhamento testados.

Este ecos são reflexões dentro da câmara com fluido de acoplamento que voltam ao transdutor, e devem ser desconsiderados na medição.

Então, os defeitos a serem detectados devem estar a um tempo maior do que 45 ms. Os sinais provenientes do rasgo (lado direito dos gráficos) são facilmente detectáveis, pois são relativamente grandes comparados ao ruído.

Depois foram testados os transdutores de cisalhamento que inspecionam o cilindro na direção horizontal. Neste teste foram utilizados os rasgos verticais da peça de calibração, que têm espessura de 0,4 mm.

Por isso, os sinais provenientes destes rasgos deveriam ser relativamente menores do que os obtidos no teste anterior. Veja as figuras 12, 13, 14 e 15.

Os sinais provenientes dos rasgos de 0,4 mm são aproximadamente 3 vezes menores do que os sinais do rasgo de 1 mm, e ainda relativamente maiores do que o ruído.

Este fato é importante pois estes são, pela norma, os menores rasgos não permitidos e devem ser detectados.

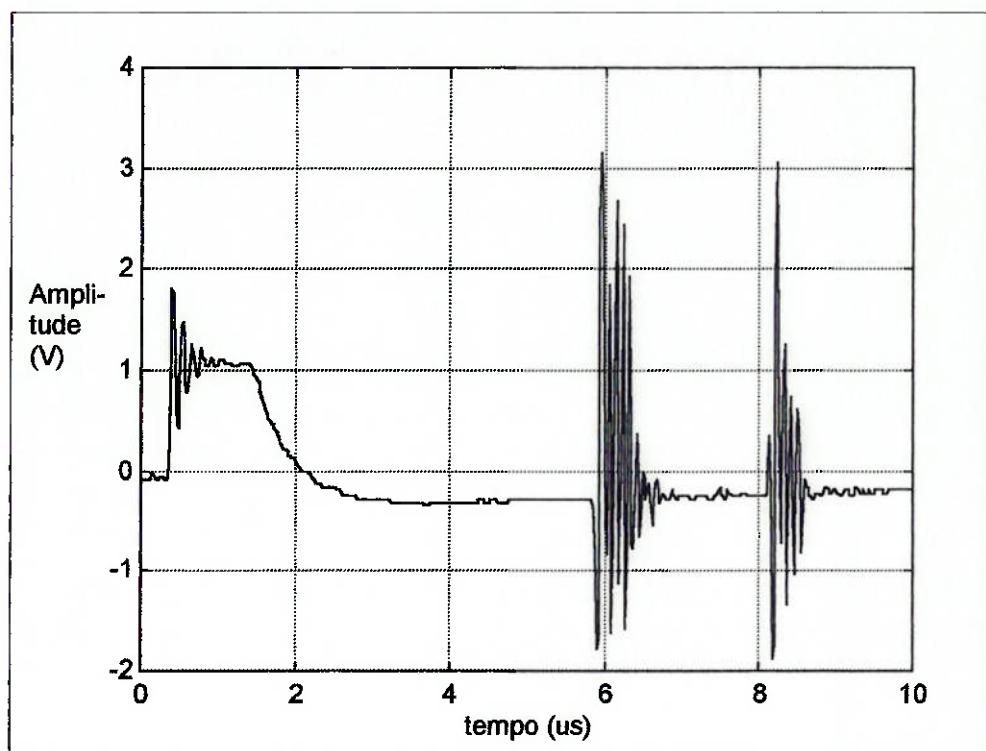


Figura 9 – Sinal do Transdutor Longitudinal

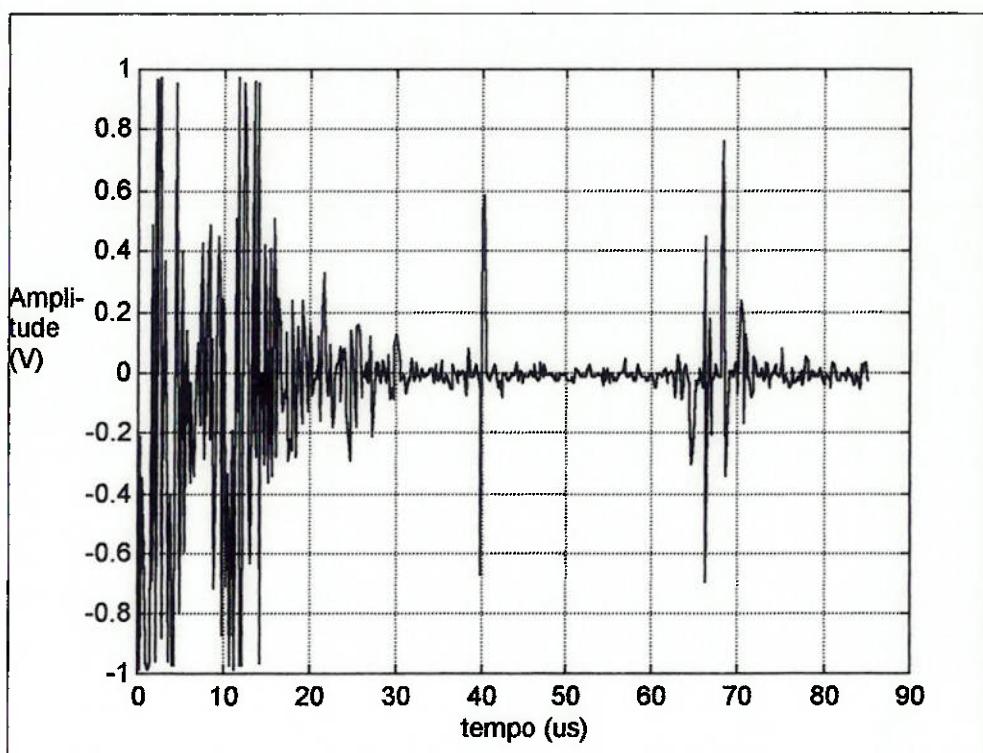


Figura 10 –Sinal do Transdutor Transversal direcionado para cima

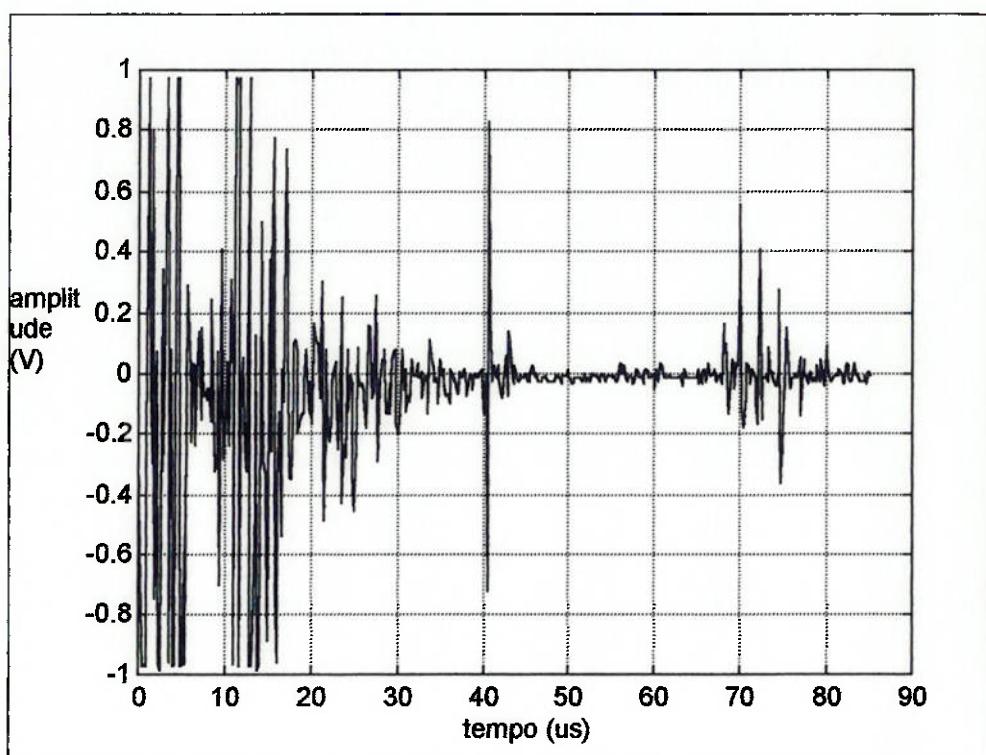


Figura 11 – Sinal do Transdutor Transversal direcionado para baixo

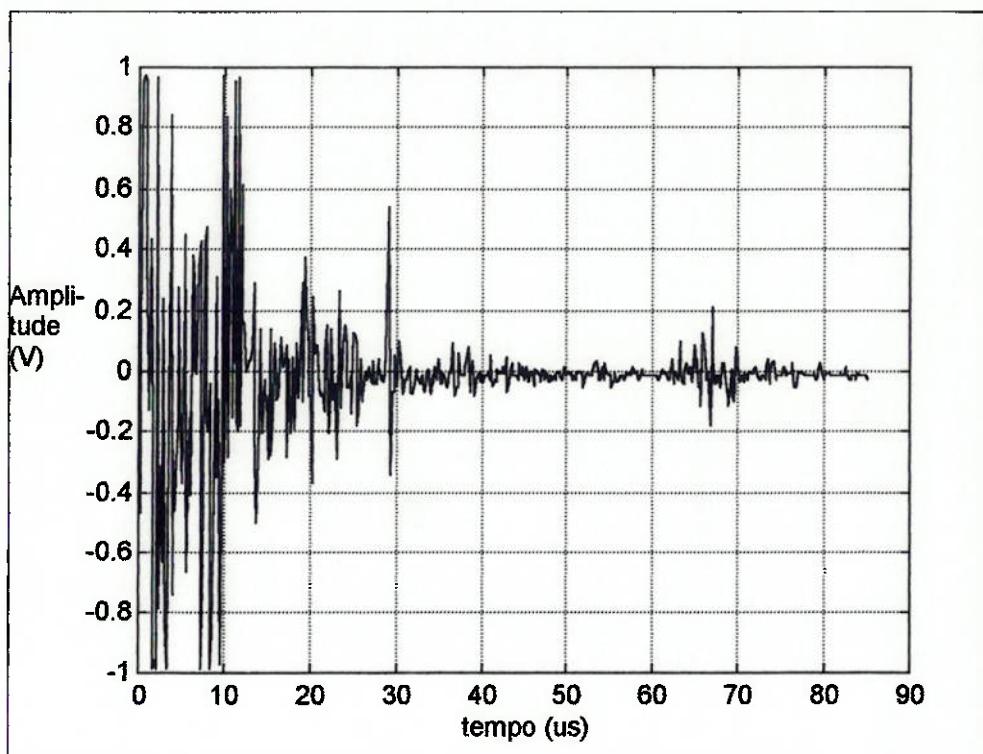


Figura 12 – Sinal do Transdutor Transversal direcionado para direita - rasgo externo

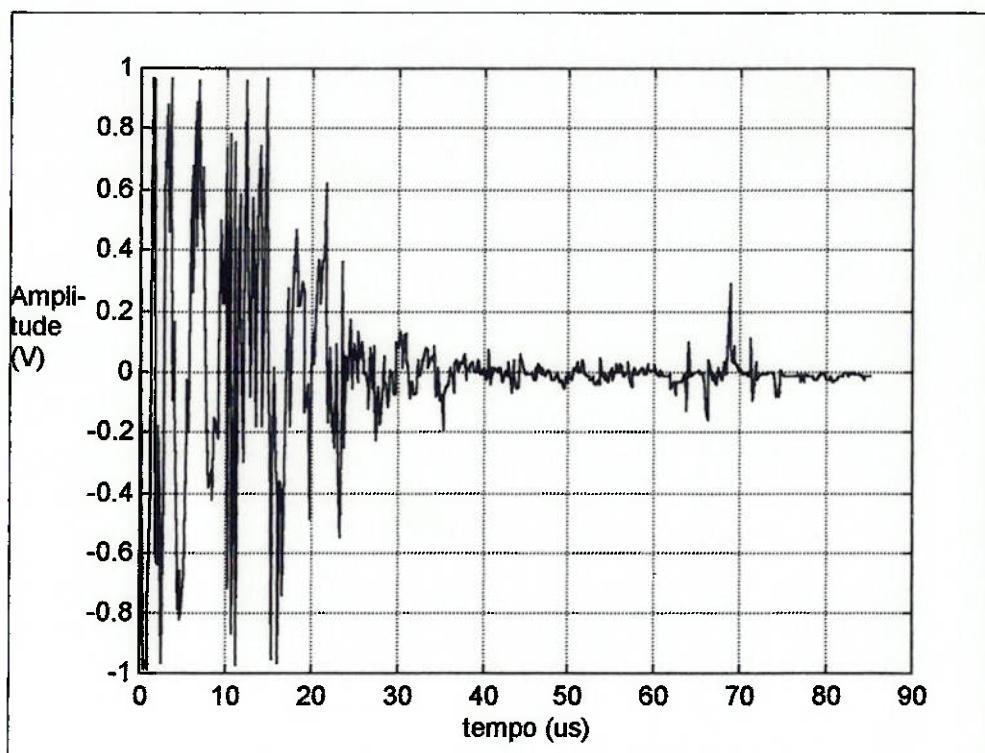


Figura 13 – Sinal do Transdutor Transversal direcionado para esquerda - rasgo externo

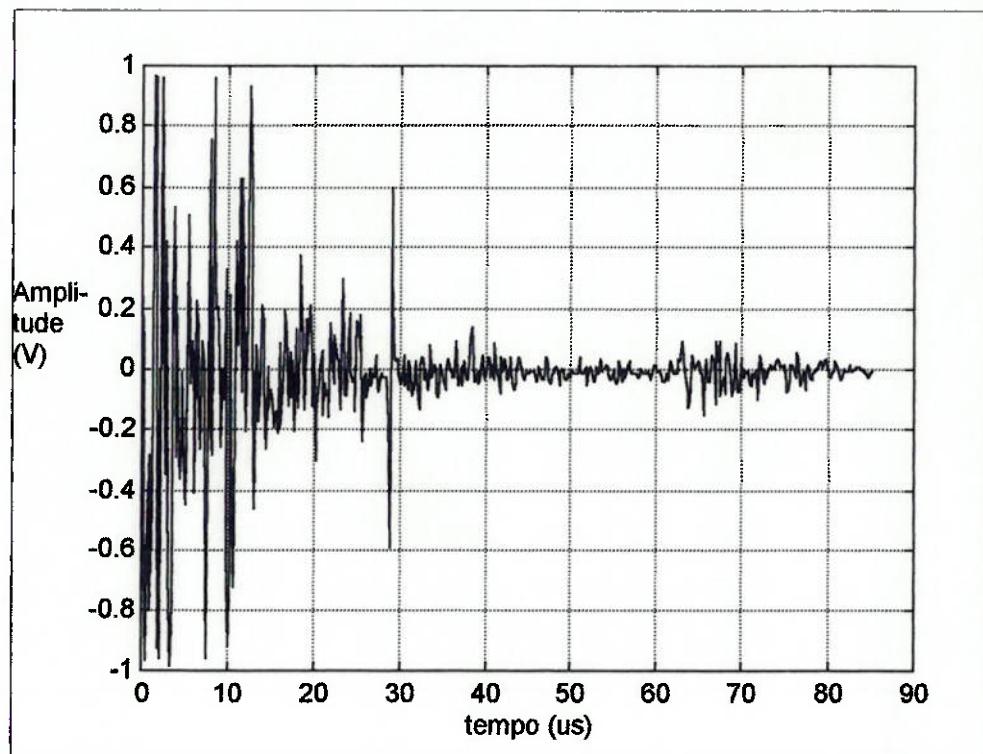


Figura 14 – Sinal do Transdutor Transversal direcionado para direita - rasgo interno

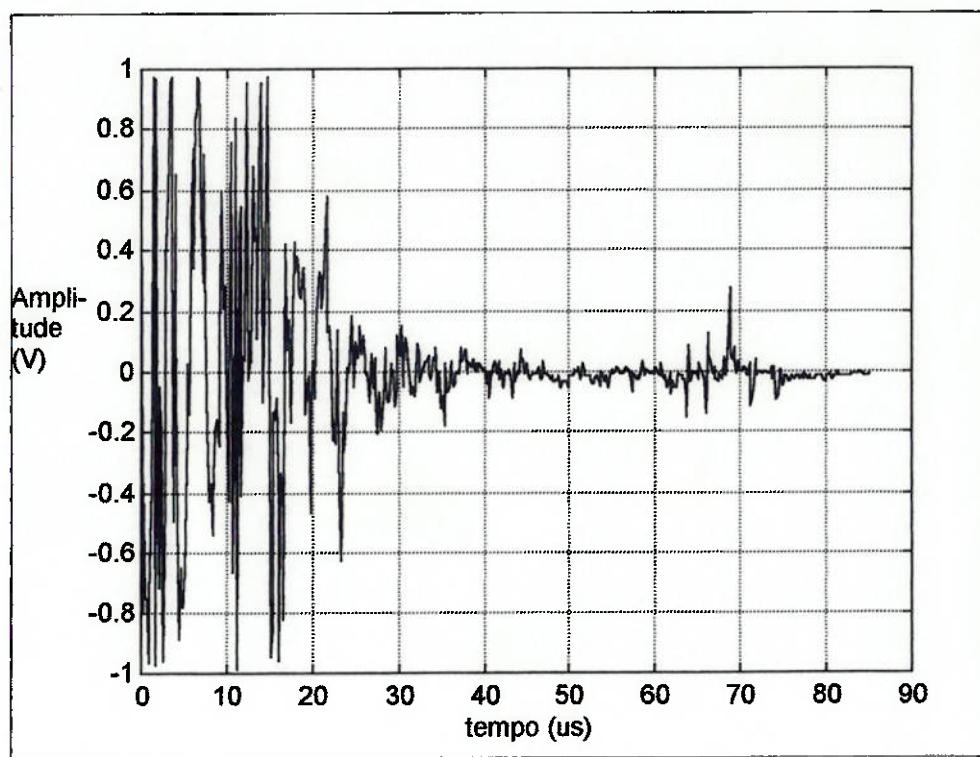


Figura 15 – Sinal do Transdutor Transversal direcionado para esquerda - rasgo interno

9. Conclusões

O protótipo teve um desempenho satisfatório, o que permitiria um avanço à próxima fase do projeto, o projeto executivo. No entanto, o escopo deste projeto final de curso é apenas o de desenvolver o projeto básico de um projeto de engenharia, incluindo a construção de um protótipo e o teste do mesmo.

Os problemas relatados, que surgiram no decorrer do projeto básico e teste do protótipo, exigiram soluções criativas, que no entanto deveriam ter sua exequibilidade verificada. Esta realimentação no projeto é necessária para que especificações possam ser atingidas e que a qualidade final do projeto seja satisfatória.

Esta realimentação se deu principalmente na fase de testes do protótipo. O resultado destes testes implicou em várias alterações no sistema:

- O projeto do acionamento do giro do cilindro e da bomba de imersão teve de ser alterado, pois provocaram ruído eletromagnético na parte eletrônica do equipamento;
- A vedação da porta do equipamento não funcionou do modo desejado, o que resultou numa alteração do projeto da porta;
- A peça de fibra de vidro que coletava o fluido de acoplamento se mostrou inadequada, e novas alterações foram feitas no projeto;

A instalação do motorredutor provocou alterações no projeto. Foi aproveitado o quadro onde se fixava o motor trifásico, ao qual se fez alterações: o eixo de saída do motorredutor é ortogonal ao eixo de simetria do motorredutor (diferente do motor

trifásico), e assim, para conectá-lo ao sistema de polias já instalado teve-se que fixar o motorreductor com seu eixo de simetria paralelo ao solo.

Por isso, foi também necessária a colocação de uma luva de extensão entre o eixo do motorreductor e a polia motora e um bloco espaçador entre o quadro e o motorreductor.

O acompanhamento da fabricação foi outra etapa importante, pois permitiu uma discussão direta com o técnico que executou a usinagem das peças, que geralmente sugeriu modificações para melhorar o projeto das mesmas, melhorando o projeto como um todo.

O software de controle, que deve estabelecer uma interface entre o operador e o equipamento e receber os dados da parte eletrônica, está em fase de implementação. O projeto deste software foi na sua maior parte projetado por outro aluno. Ao autor coube a função de auxiliar o outro aluno no projeto. Veja o anexo 10.3 para maiores informações sobre o projeto do software de controle.

10. Referências Bibliográficas

- [1] Horrigan, P.M., Finn, J.F., Locating fatigue cracks by acoustic emmission testing, Journal of Acoustic Emission, v.8, n.1-2, p. S79-S83, janeiro (1989).
- [2] Barthelemy, H., Periodic inspection of compressed gas cylinders and transport vessels by acoustic emission testing, Journal of Acoustic Emission, v.8, n.1-2, p. S75-S78, janeiro (1989).
- [3] Norma ABNT, Inspeção em cilindros de aço sem costura para gases, NBR 12274-1995
- [4] Adamowski, J.C., Buiochi, F., Souza Jr., C. V., Matuda, M.Y. "Sistema computadorizado de mapeamento de campo acústico" XIV Congresso Nacional de Ensaios Não Destrutivos, Rio de Janeiro, setembro de 1995.
- [5] Simon, C., Adamowski, J.C., Silva, E.C.N., Higuti, R.T. "Aplicação de Técnicas de Processamento Digital de Sinais a Ensaios Não Destrutivos por Ultra-Som". XII COBEM Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, ABCM, Brasília, p. 253-256, 1993.

- [6] T. Higuti, J. C. Adamowski, C. Simon, E. C. N. Silva e F. Buiochi, Métodos de Determinação de Espessuras por Ultra-som, CONAI (Congresso Nacional de Automação Industrial), São Paulo - SP, junho de 1994.
- [7] Manfê, G.; Pozza, R; Scarato, G., Desenho Técnico Mecânico vol. 1, 2 e 3, Hemus-Livraria Editora Ltda., São Paulo.
- [8] Beer, F; Johnston, E., Mecânica Vetorial para Engenheiros, Editora MacGraw Hill, 5^a edição, São Paulo, 1991.
- [9] Catálogo Geral - SKF, Stamperia Artistica Nazionale, Turim, 1989.
- [10] KrautKrämer, J., Ultrasonic Testing of Materials, Springer-Verlag, 4th edition, 1990.

11. Anexos

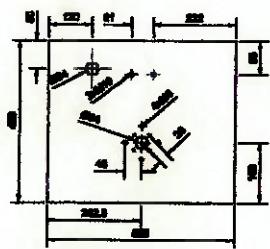
11.1. Desenho de Conjunto

Todo o projeto da máquina foi executado com auxílio do software Autocad - versão 14.

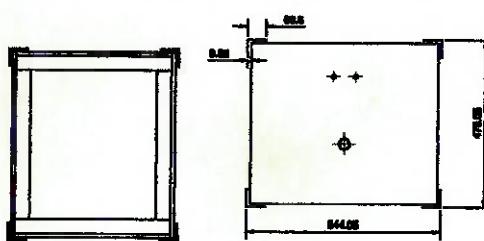
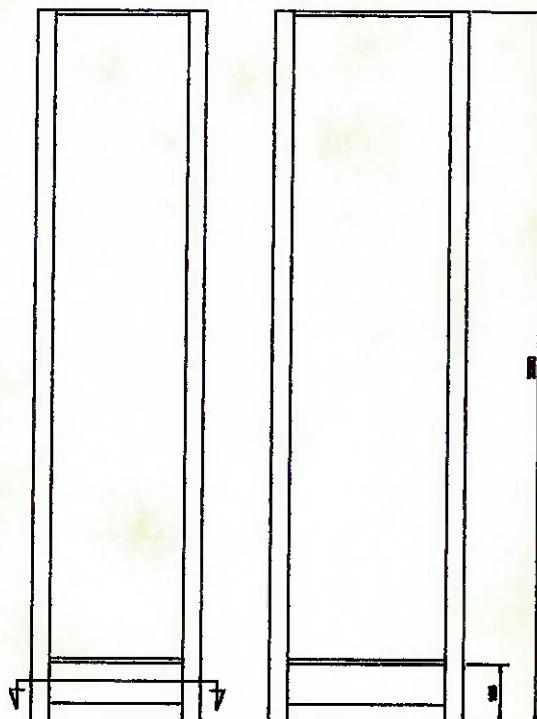
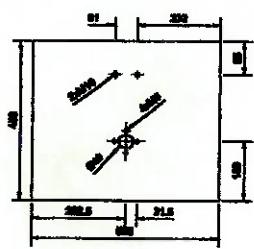
11.2. Desenhos de Fabricação

A seguir estão os principais desenhos de fabricação das peças do conjunto, numeradas conforme o desenho de conjunto.

Chapa inferior



Chapa superior



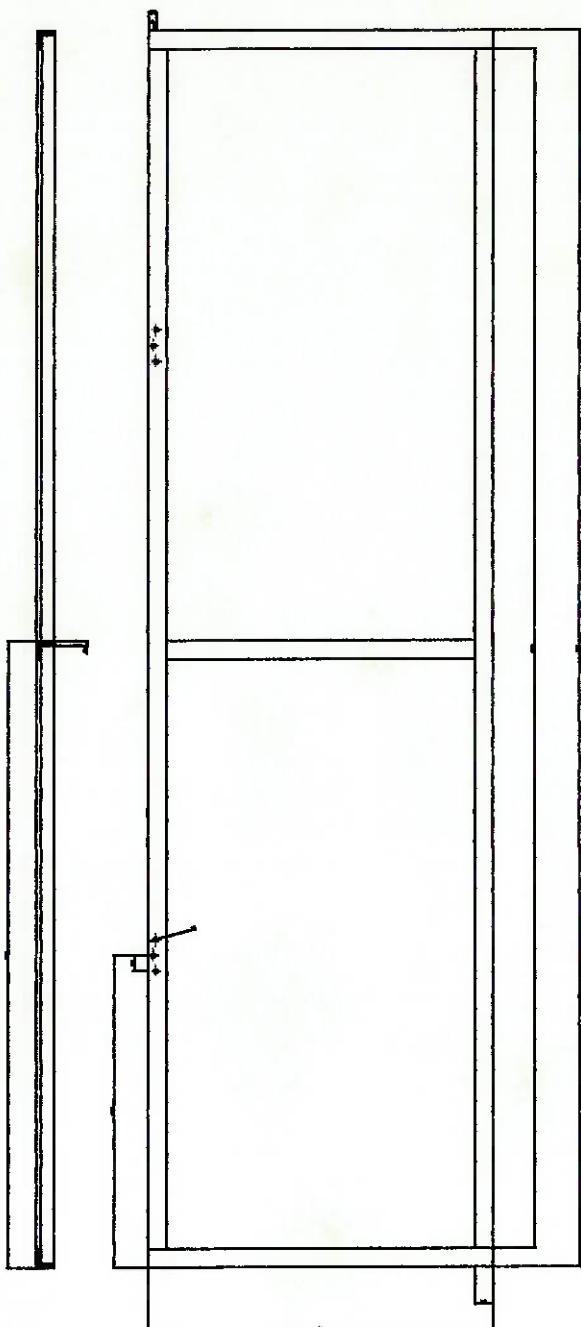
Peca 1 - Estrutura

Escala 1:20

Obs.: As pecas sao soldadas entre si

Materiais: 1020

Projeto por: Rafael Z. A. C. Goncalves



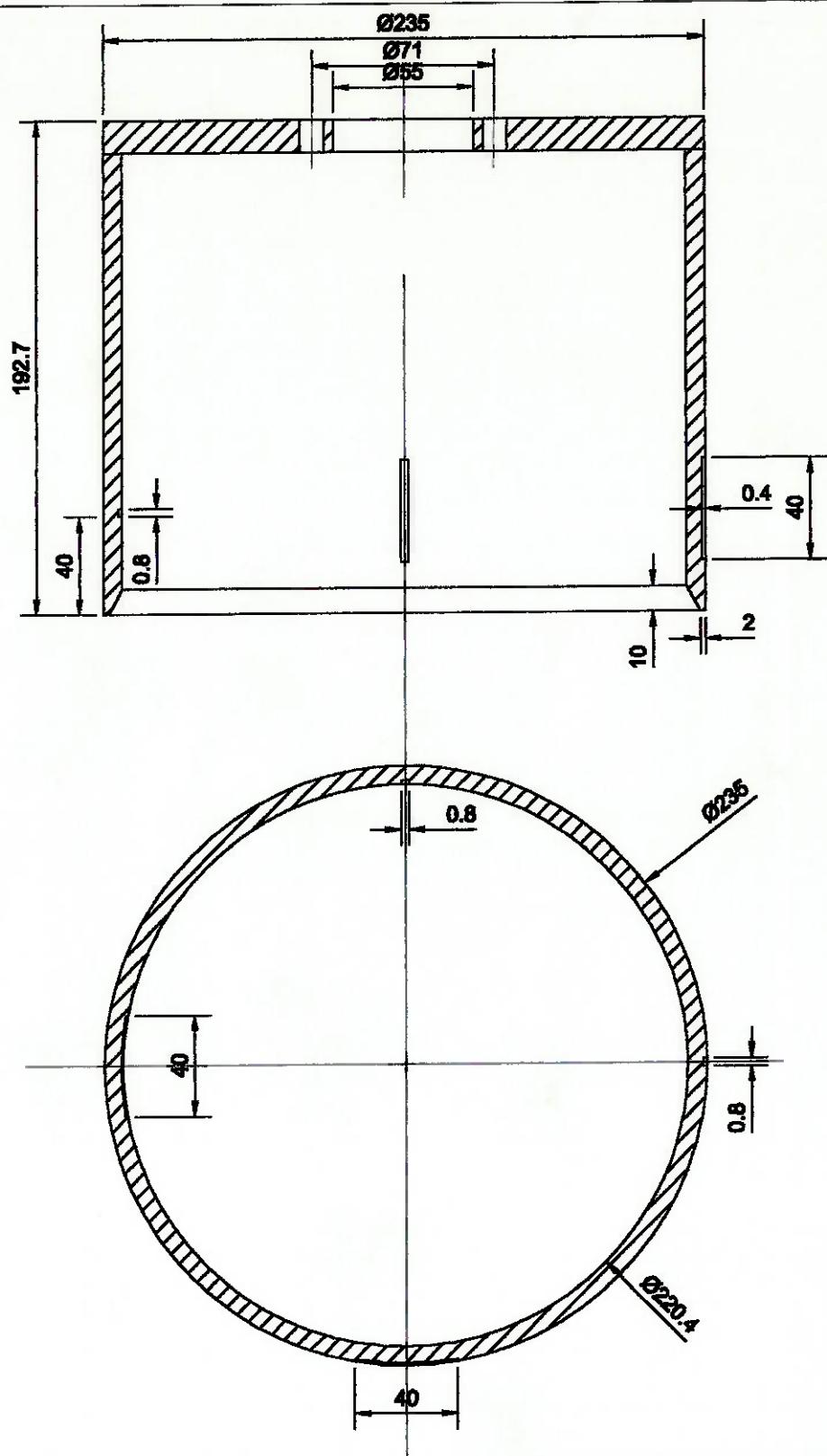
Peca 5 - Porta

Escala: 1:10

Obs.: As peças são soldadas entre si

Material: 1020

Projeto por: Rafael Z. A. C. Goncalves



Peca 15 - Peca de Calibracao dos Transdutores

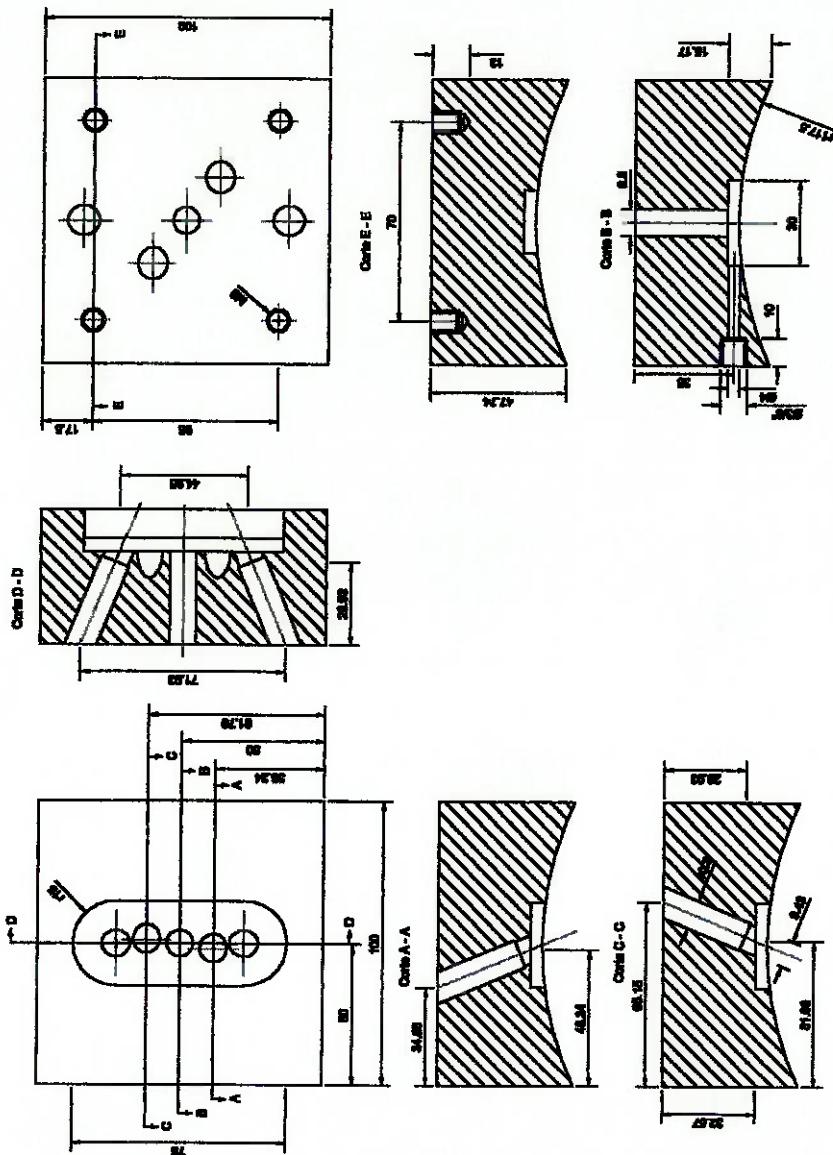
Escala 1:2,5

Obs1.: Peças são soldadas entre si

Material: 1020

Obs2.: rasgos da norma são feitos por eletro-erosão

Projeto por: Rafael Z. A. C. Gonçalves

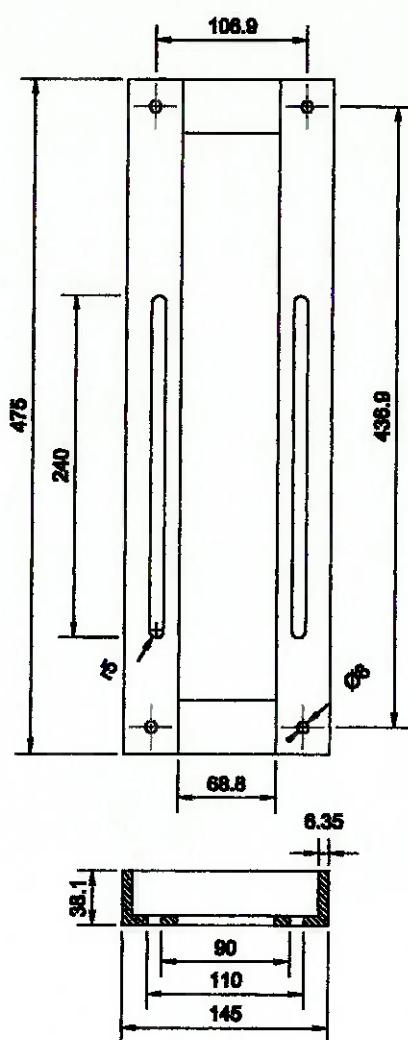


Peca 16 - Suporte dos transdutores

Escala: 1:2.5

Projeto por: Rafael Z. A. C. Goncalves

Materiais: Nylon

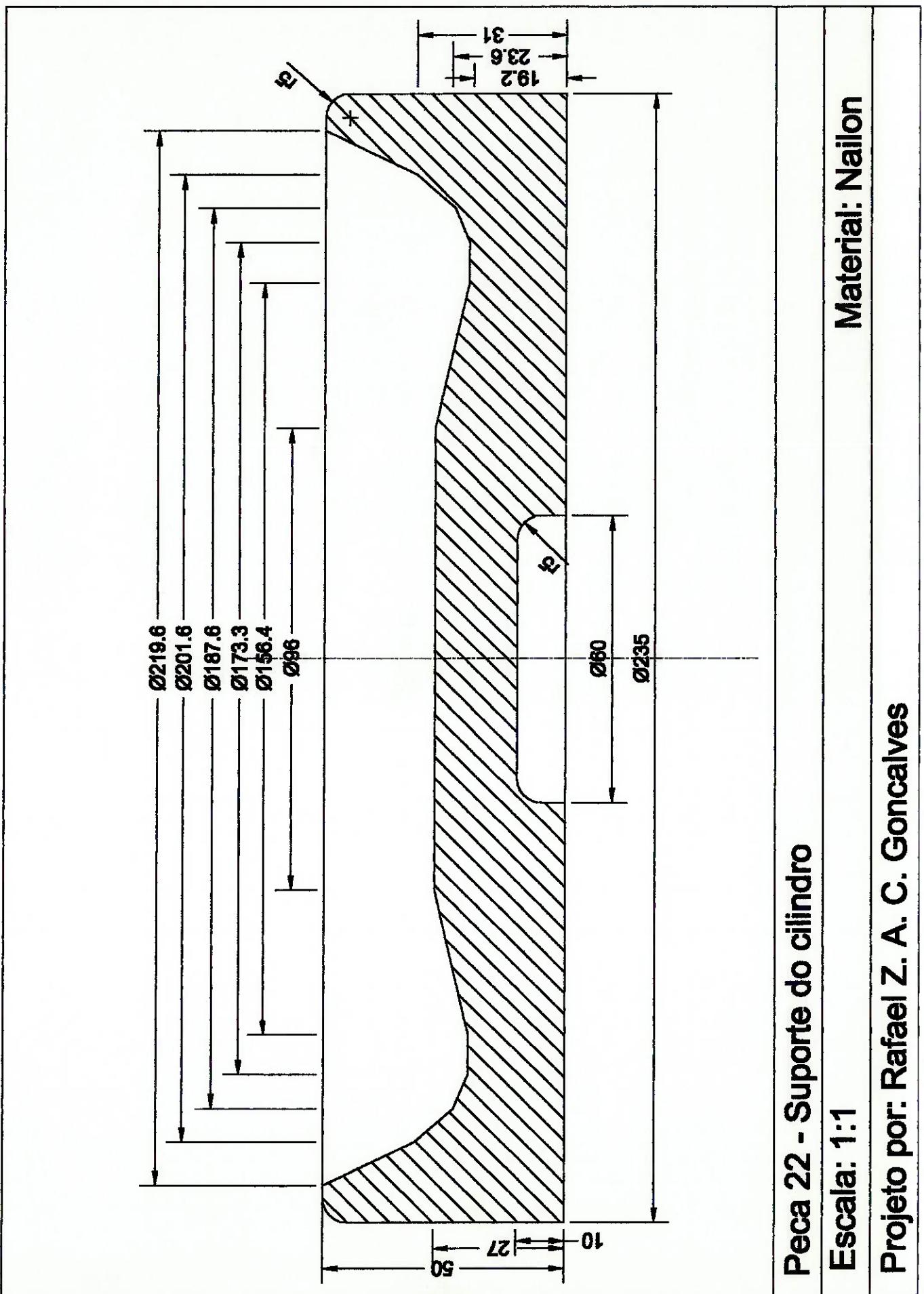


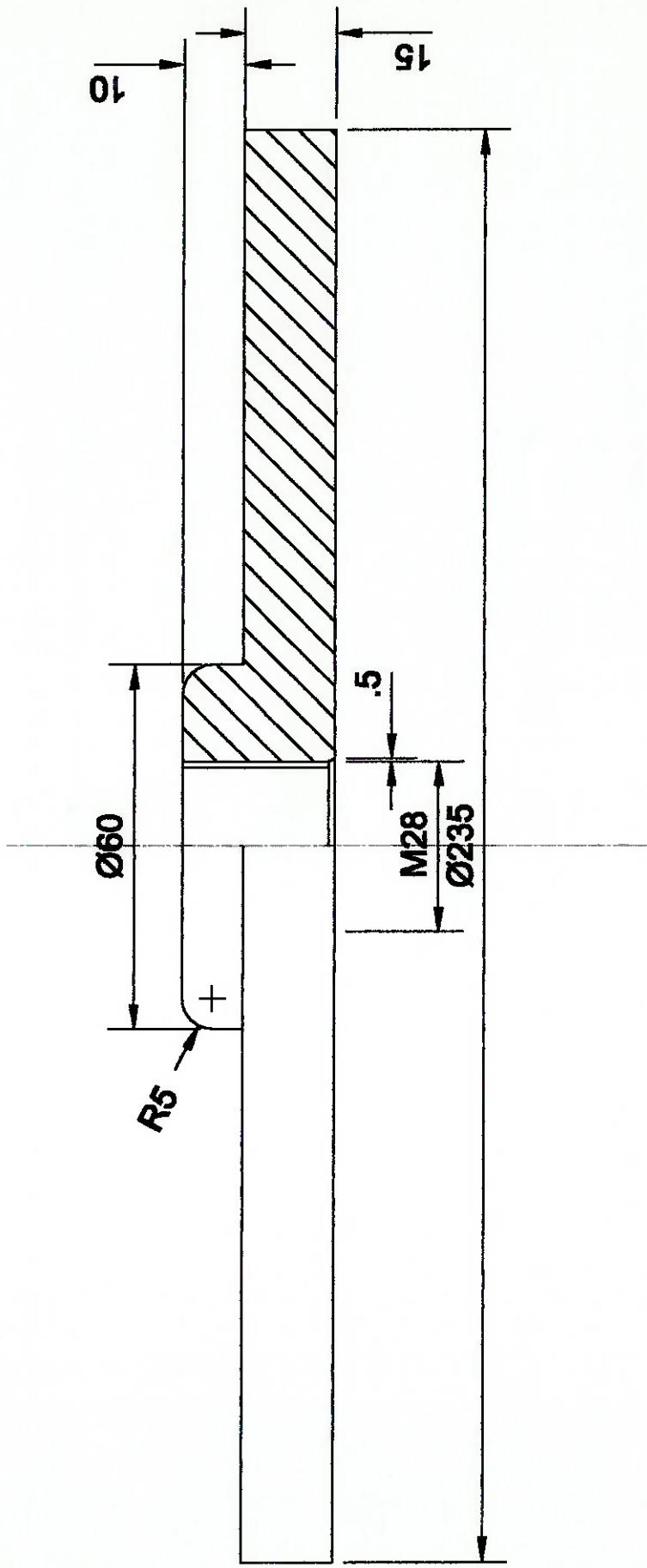
Peca 18 - Quadro suporte do motor

Escala 1:5

Material: 1020

Projeto por: Rafael Z. A. C. Goncalves



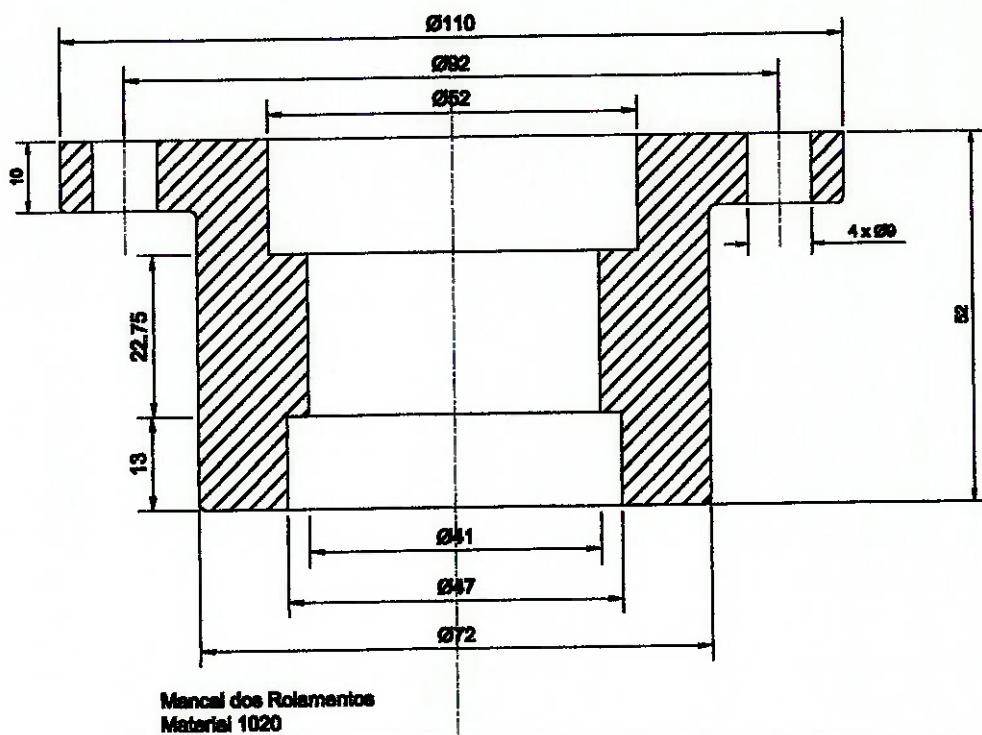


Peca 23 - Pista de Rotacao

Escala: 1:1

Projeto por: Rafael Z. A. C. Goncalves

Material: 1020



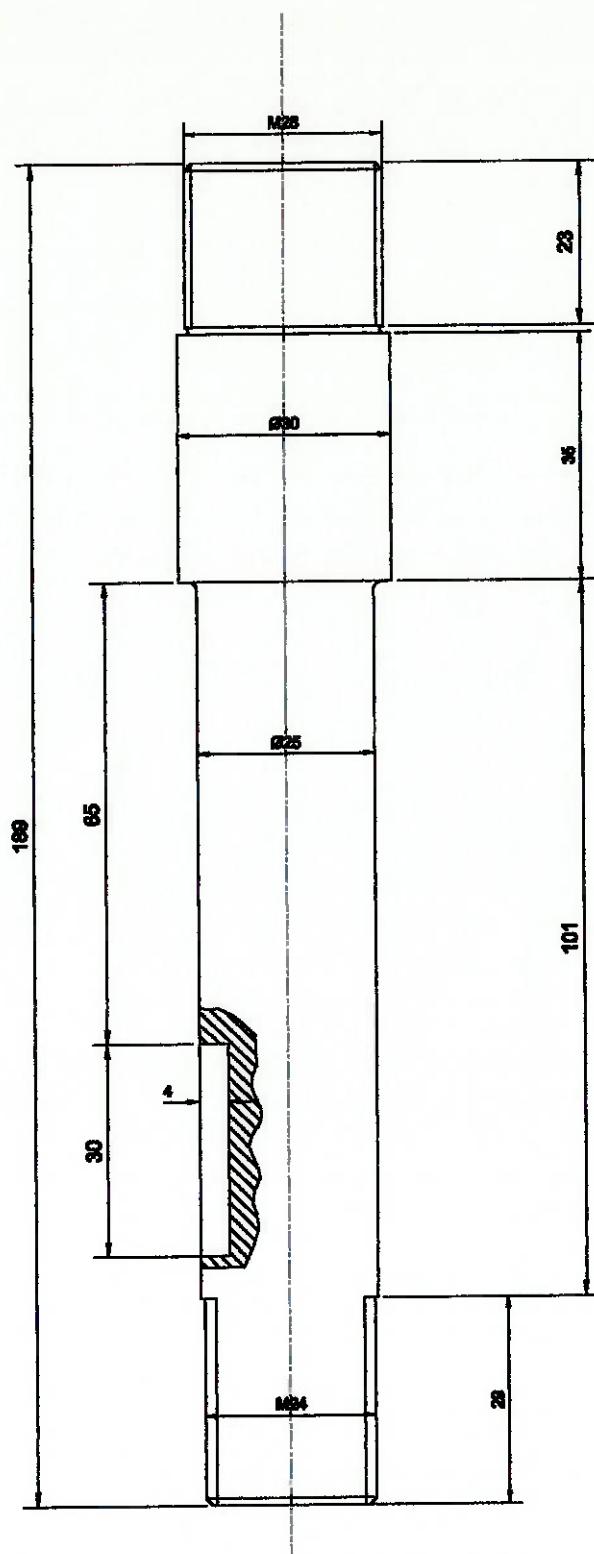
Peca 26 - Mancal Inferior

Escala 1:1

Obs.: Diametros Ø52 e Ø47 são ajustados com os rolamentos

Projeto por: Rafael Z. A. C. Goncalves

Material: 1020



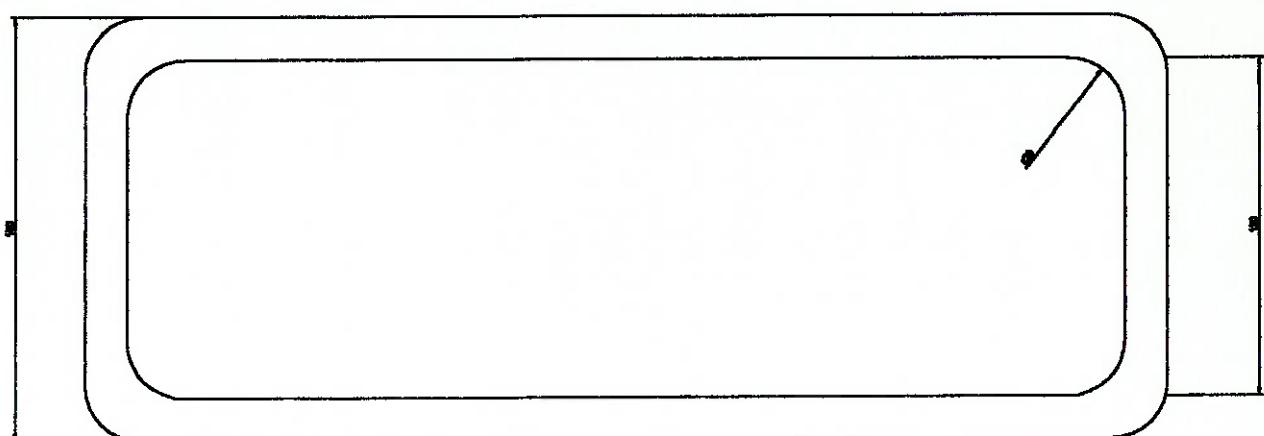
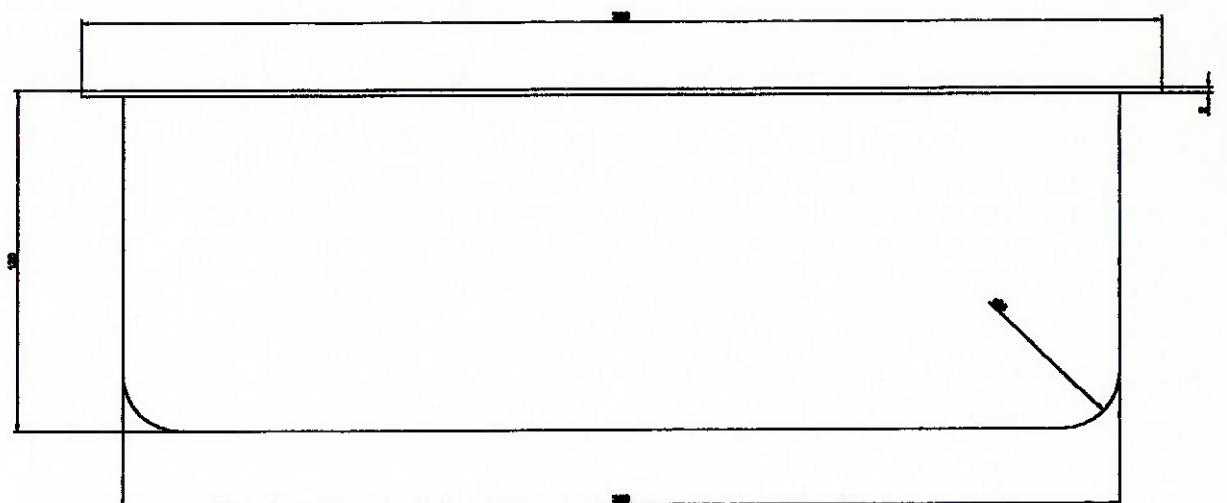
Peca 29 - Eixo

Escala 1:1

Obs.: Diametro Ø30 ajustado com rolamentos

Projeto por: Rafael Z. A. C. Goncalves

Material: 1040



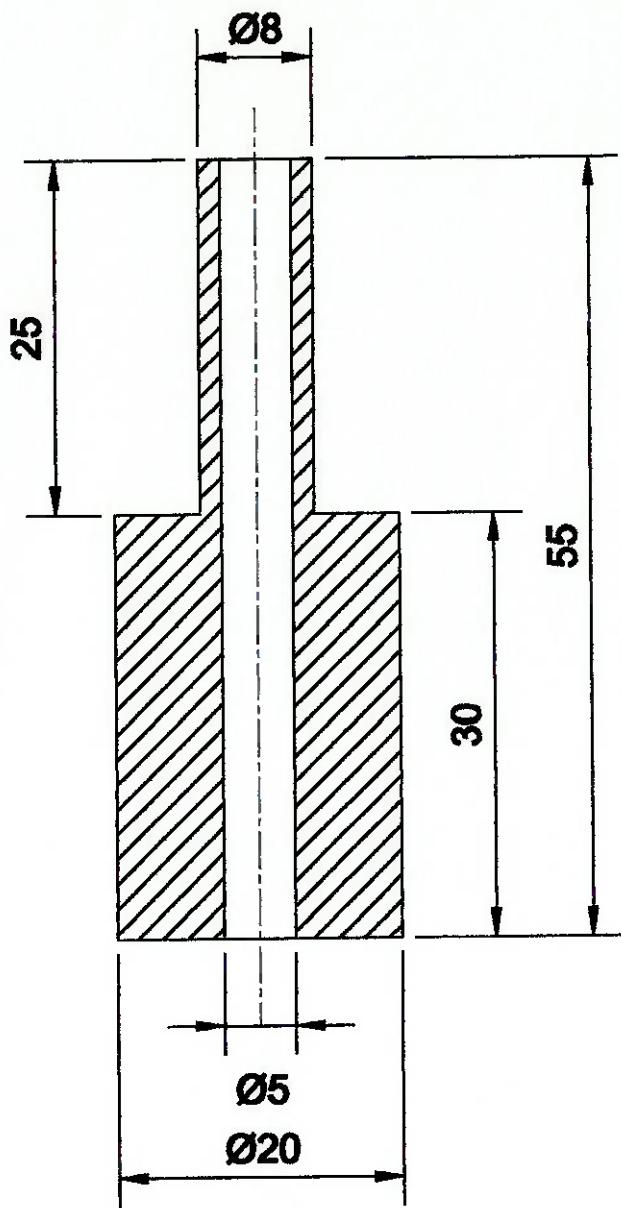
Peca 35 - Reservatorio

Escala 1:2.5

Obs.: Peça e moldada sobre molde de madeira

Projeto por: Rafael Z. A. C. Goncalves

Material: Fibra de vidro

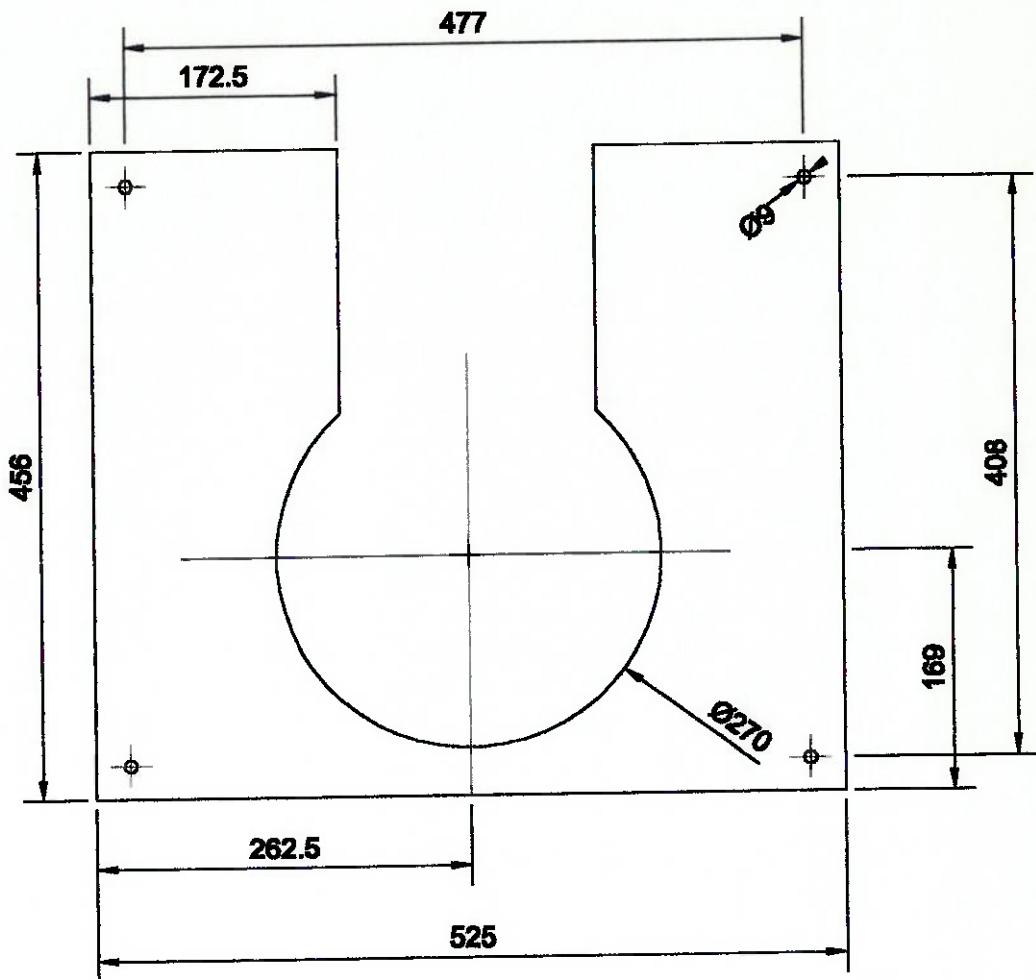


Peca 36 - Conexao mangueira-mangueira

Escala: 2:1

material: Latao

Projeto por: rafael Z. A. C. Goncalves

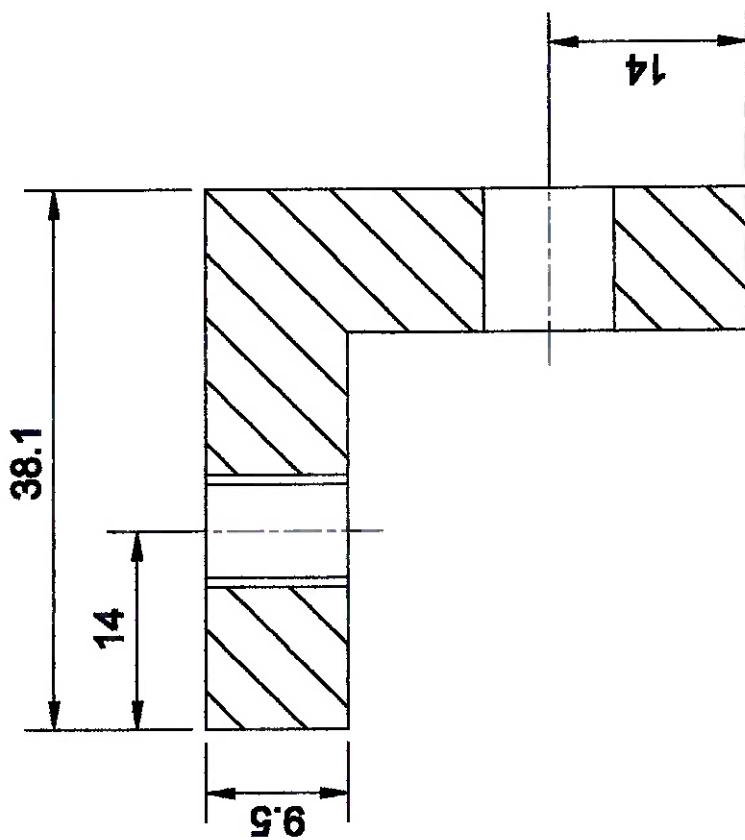
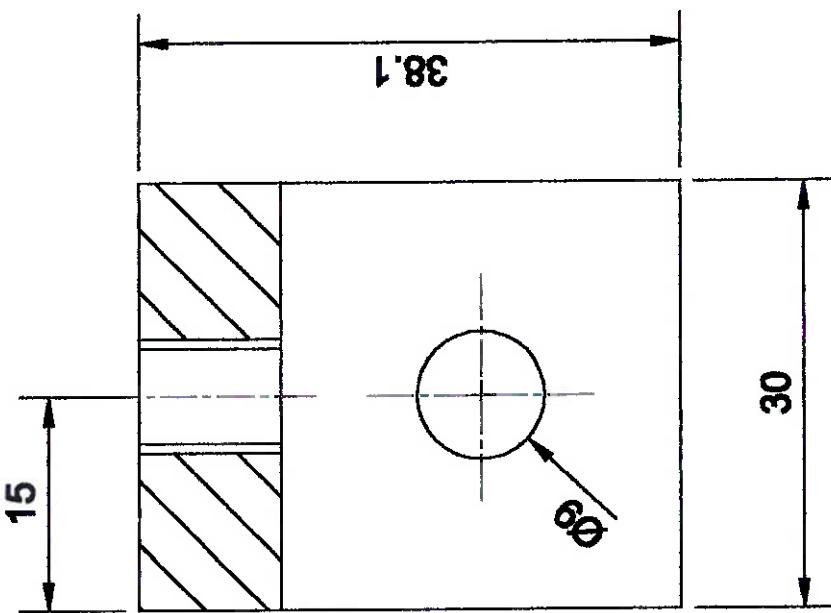


peca 37 - Chapa Base

Escala: 1:5

Material: 1020

Projeto por: Rafael Z. A. C. Goncalves

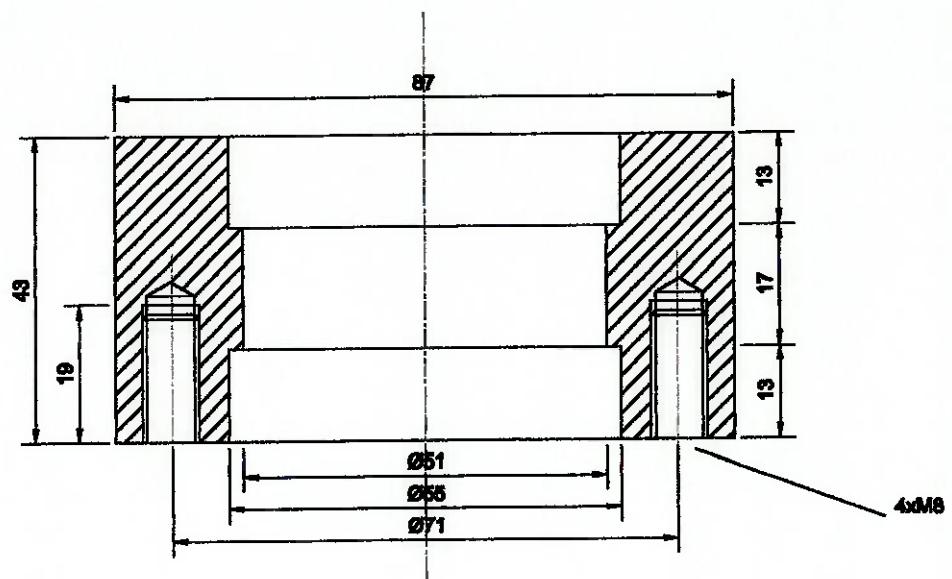


Peca 39 - "L" de fixacao da placa base

Escala: 2:1

Projeto por: Rafael Z. A. C. Goncalves

Material: 1020



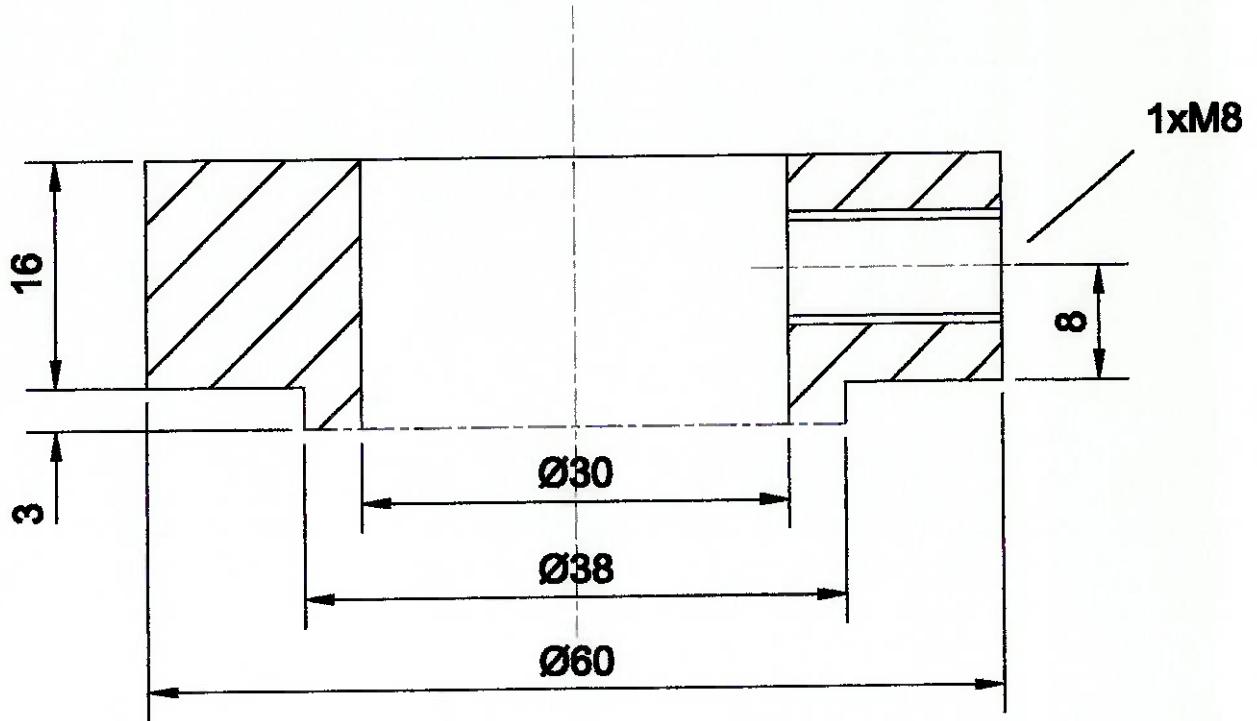
Peca 44 - Mancal superior dos rolamentos

Escala: 1:1

Obe.: Diametro 255 e ajustado com os rolamentos

Material: 1020

Projeto por: rafael Z. A. C. Goncalves

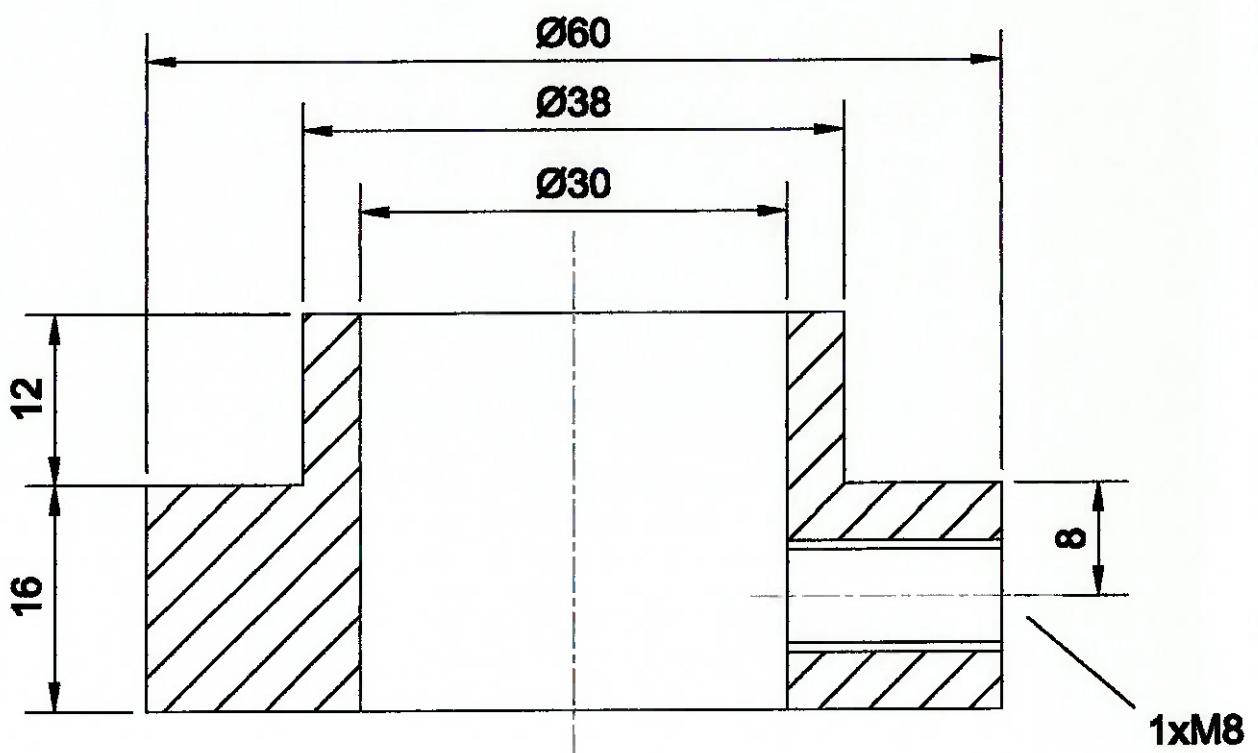


Peca 45 - Luva inferior de fixacao

Escala: 2:1

Material: 1020

Projeto por: Rafael Z. A. C. Goncalves

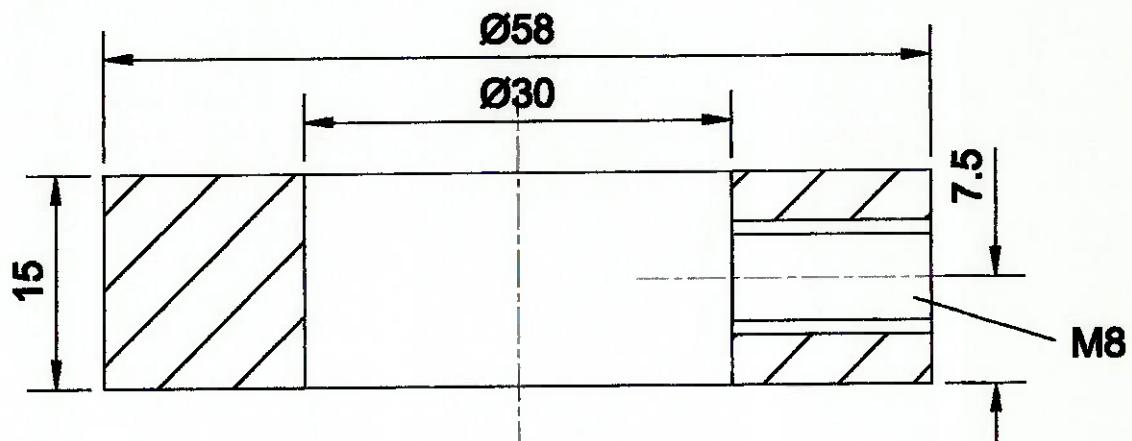


Peca 48 - Luva superior de fixacao

Escala 2:1

Material: 1020

Projeto por: Rafael Z. A. C. Goncalves

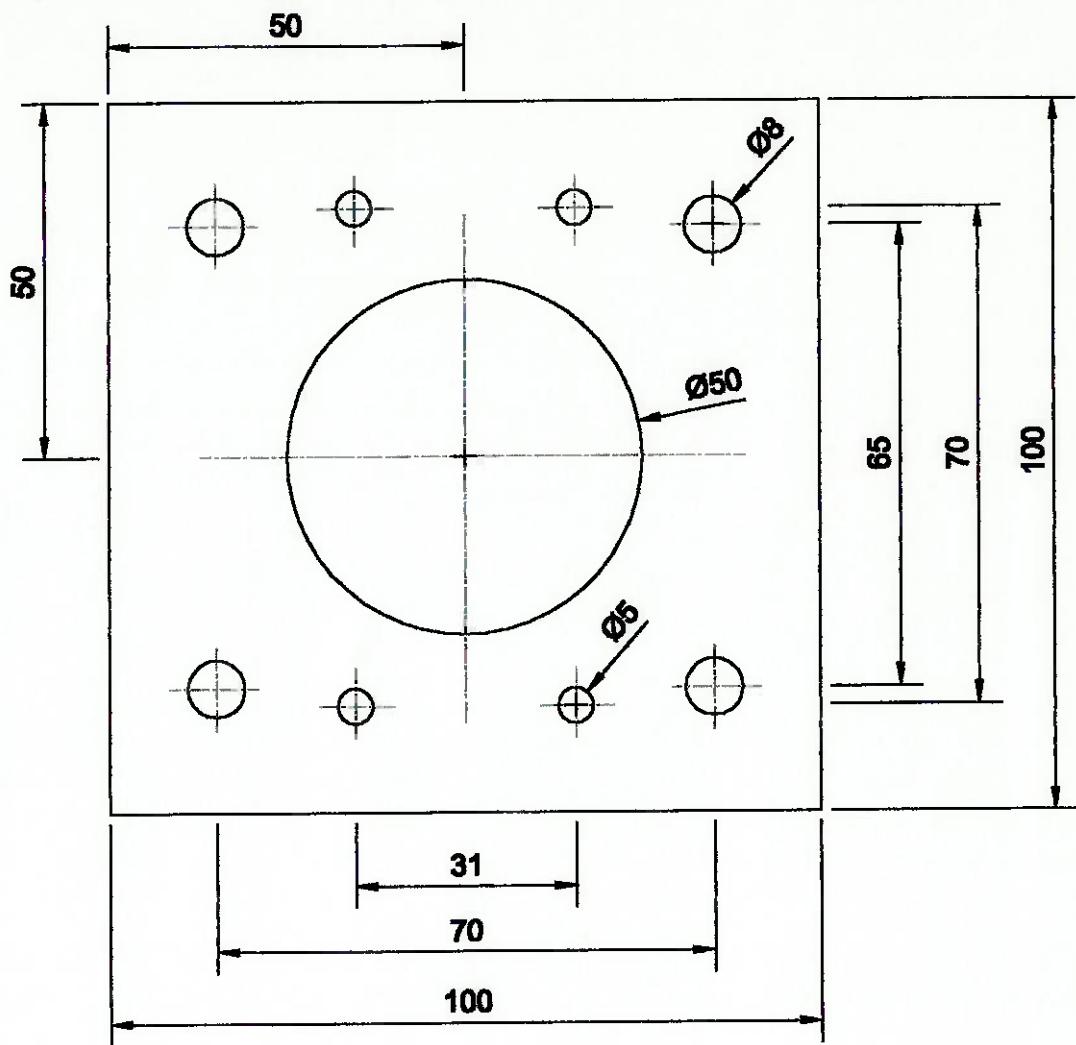


Peca 49 - Luva 3 de fixacao

Escala: 2:1

Material: 1020

Projeto por: Rafael Z. A. C. Goncalves

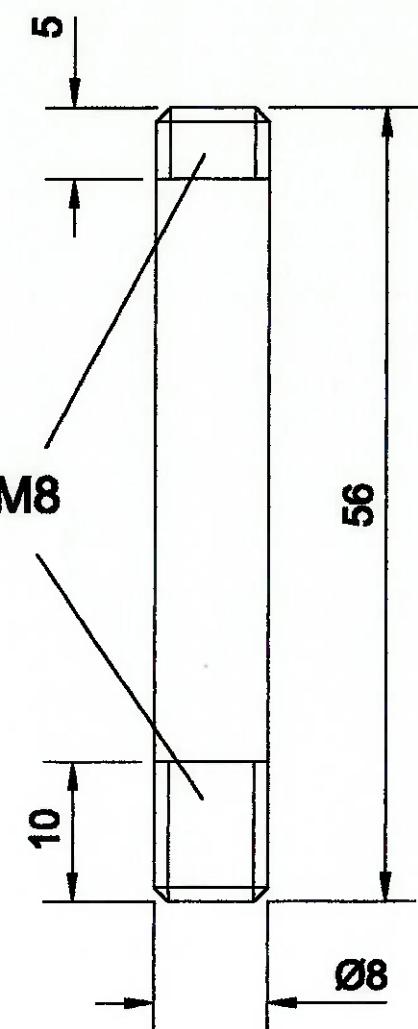


Peca 55 - Chapa guia

Escala: 1:1

Material: inox

Projeto por: Rafael Z. A. C. Goncalves

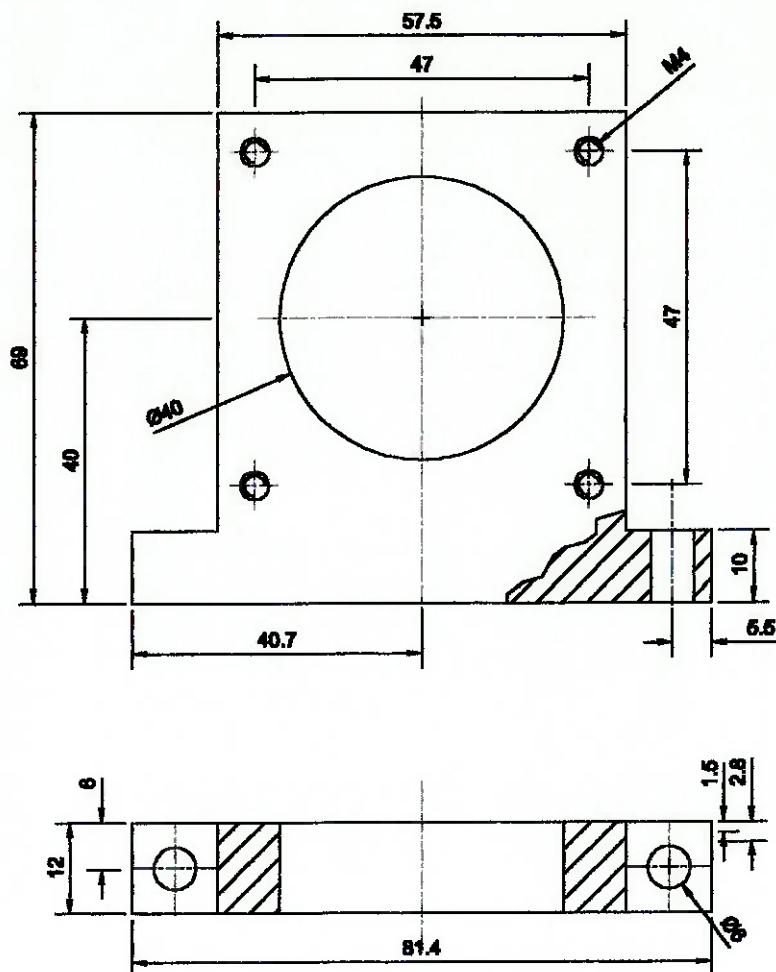


Peca 57 - Guia suporte dos transdutores

Escala: 2;1

Material: Inox

Projeto por: Rafael Z. A. C. Goncalves

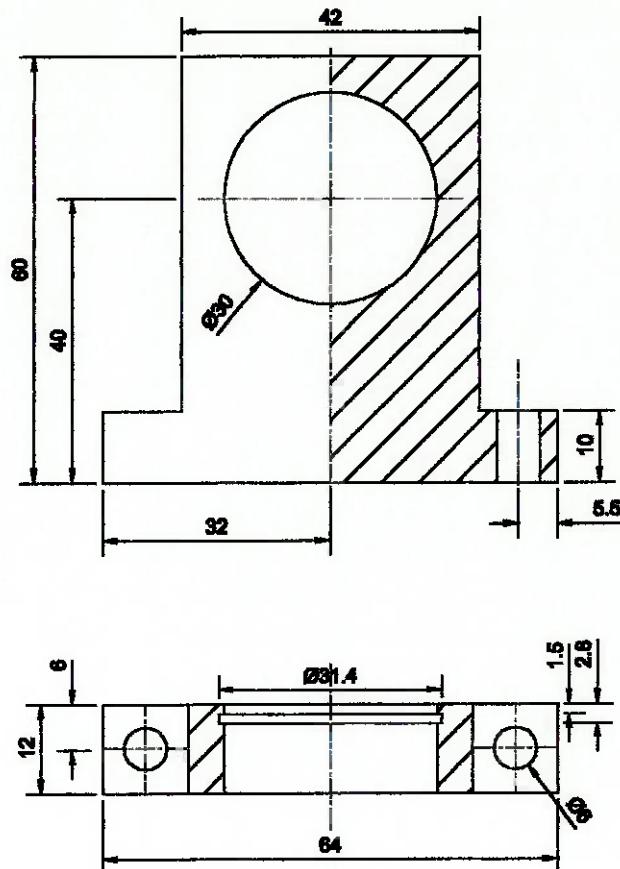


Peca 60 - Suporte do motor de passo

escala: 1:1

Material: Aluminio

Projeto por: Rafael Z. A. C. Goncalves

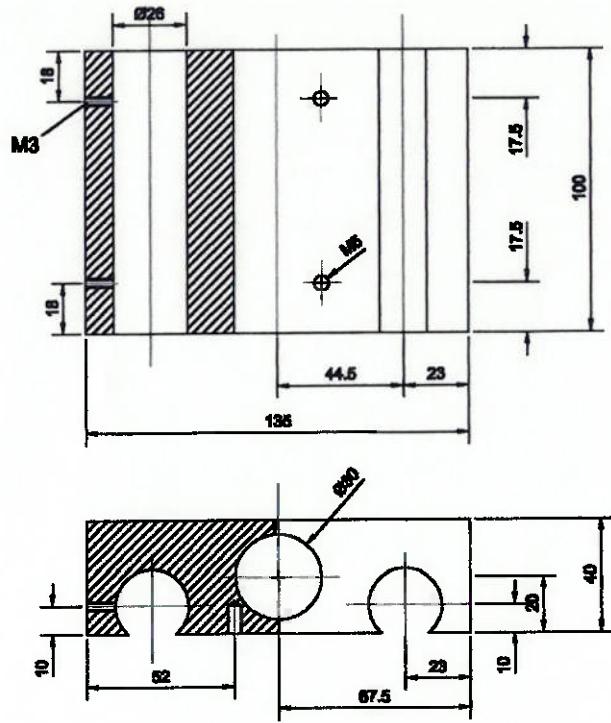


Peca 63 - Suporte do fuso

Escala: 1:1

Material: Aluminio

Projeto por: Rafael Z. A. C. Goncalves

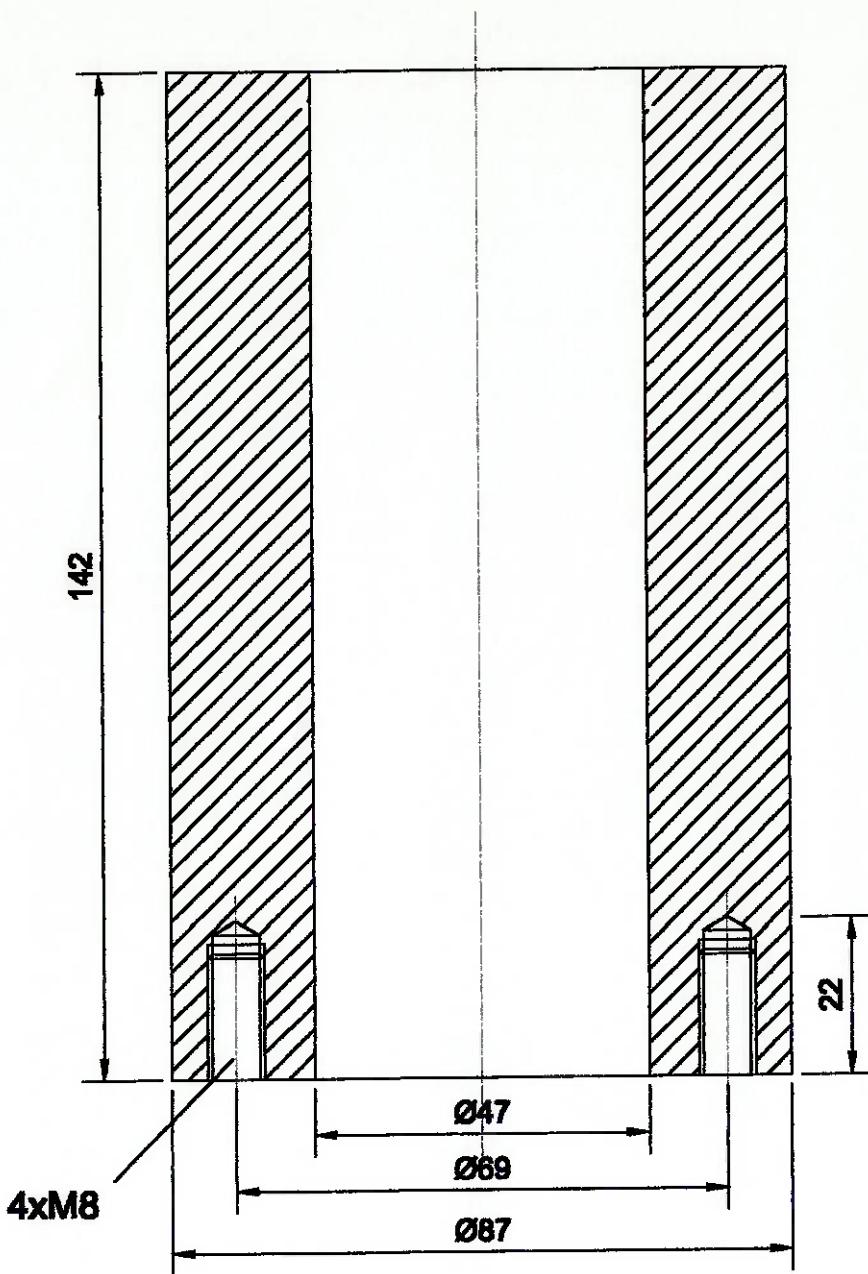


peça 69 - Carro dos transdutores

Escala: 1:1

Material: Aluminio

projeto por: Rafael Z. A. C. Goncalves



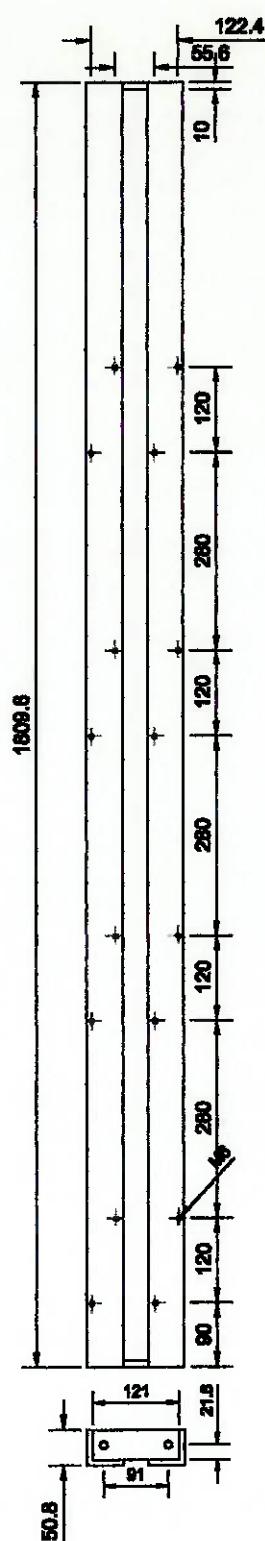
Peca 75 - Suporte dos rolamentos lineares

Escala: 1:1

Obs.: Diametro Ø47 e ajustado com os rolamentos lineares

Projeto por: Rafael Z. A. C. Goncalves

Material: 1020



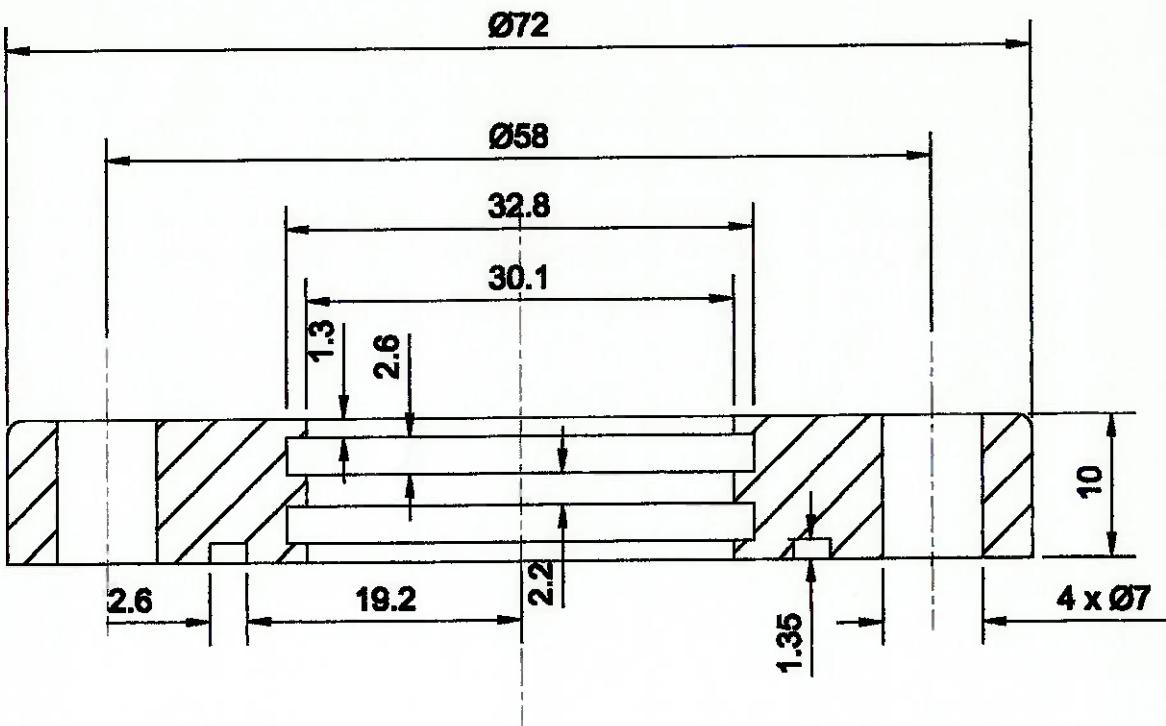
Peca 78 - Quadro Suporte das Guias Lineares e do Fuso

Escala 1:10

Obs.: As peças são soldadas entre si

Material: 1020

Projeto por: Rafael Z. A. C. Gonçalves



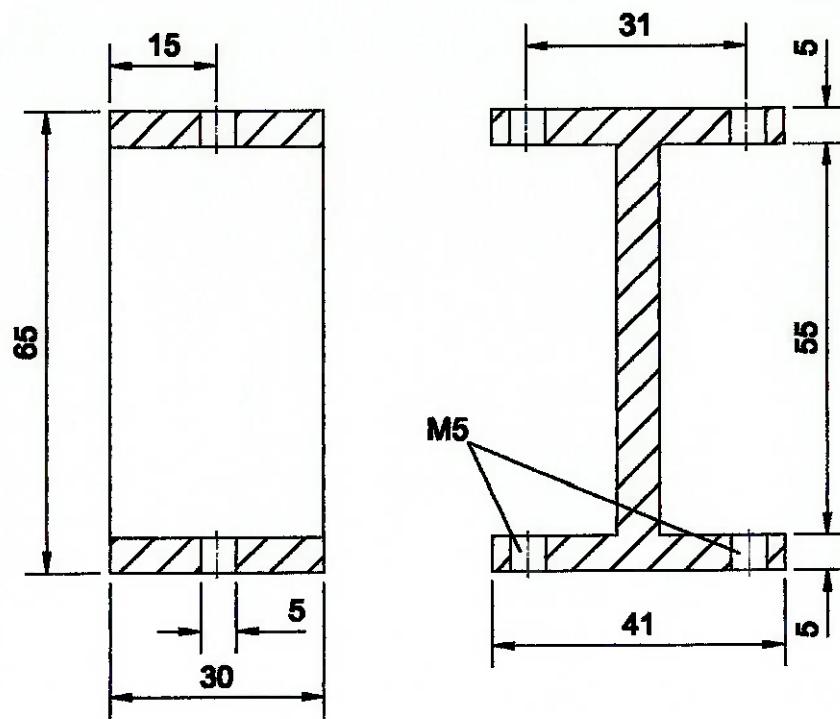
Peca 79 - Suporte dos aneis de vedacao

Escala: 2:1

Obs.: arredondamentos: r1

Material: Nylon

Projeto: Rafael Z. A. C. Goncalves

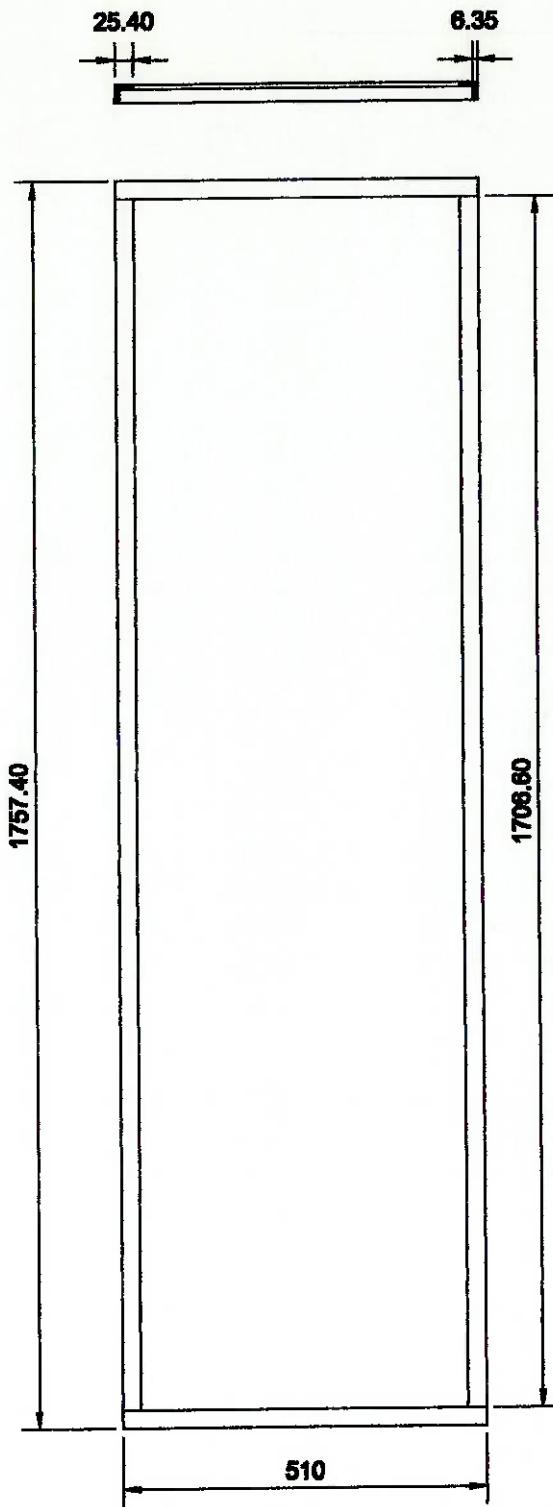


Peca 80 - Viga em "I"

Escala 1:1

Material: Aluminio

Projeto por: Rafael Z. A. C. Goncalves



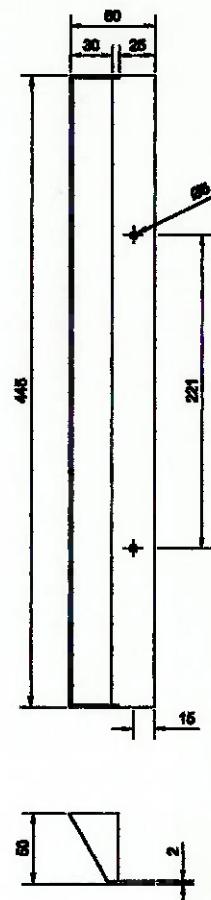
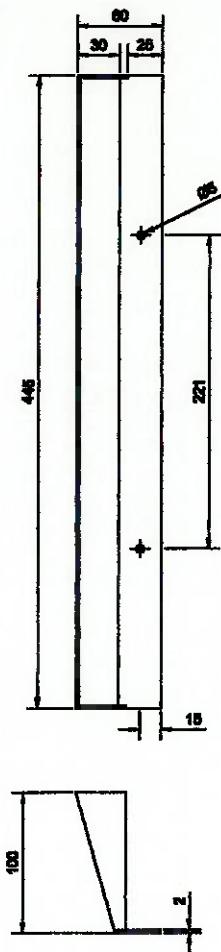
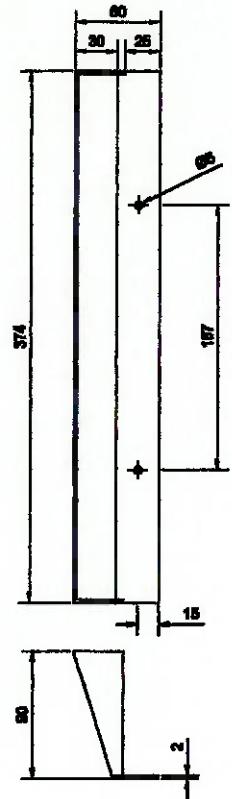
Pega 81 - Quadro Suporte da Porta

Escala: 1:10

Obs.: As peças são soldadas entre si

Material: 1020

Projeto por: Rafael Z. A. C. Goncalves



Pecas 82, 83 e 84 - Placas de Reservatório

Escala 1:5

Material: Alumínio

Projeto por: Rafael Z. A. C. Gonçalves

11.3. Software de Controle

O software foi desenvolvido em linguagem C++, sendo que a parte gráfica (o painel de controle, onde os comandos são executados com auxílio do mouse), que foi feita principalmente pelo outro aluno auxiliado pelo autor, foi desenvolvida em LABWINDOWS.

Foi utilizada a parte de comando da parte eletrônica do equipamento encomendada junto com as placas de controle e a parte de recepção de dados por DMA feita pelo professor Celso Furukawa.

O software precisa ser testado, sendo para isso necessário que a parte eletrônica esteja em completo funcionamento (o que não aconteceu até o presente momento).

Nas figuras 16 e 17 estão fotos do monitor do computador, mostrando as telas de comando e a tela de mapeamento da parede do cilindro.

No mapeamento no monitor pode-se escolher visualizar os defeitos de cada transdutor. Após a inspeção, o programa ordena a impressão de um relatório com os defeitos do cilindro. Em seguida está a listagem do programa.

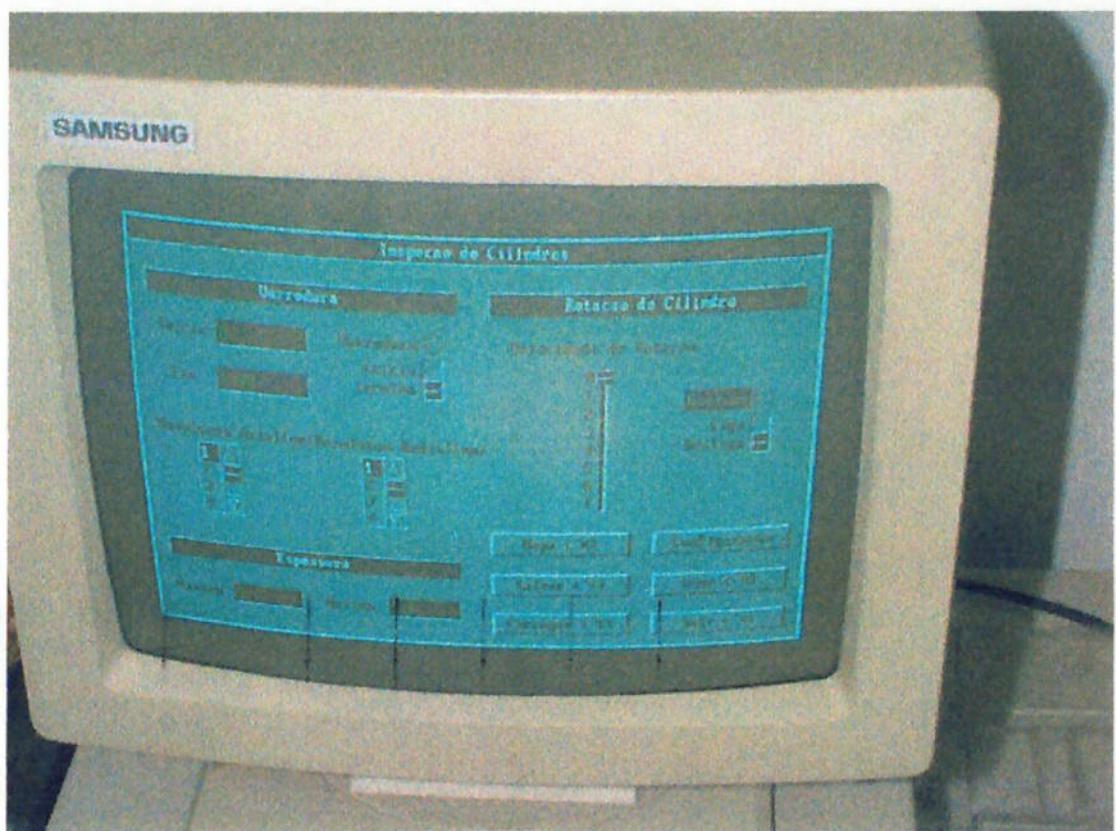


Figura 16 - Tela Inicial de Operação, com botão de início de varredura, controles de sensibilidade de detecção de defeitos, e botões de configuração e de visualização do mapeamento do cilindro

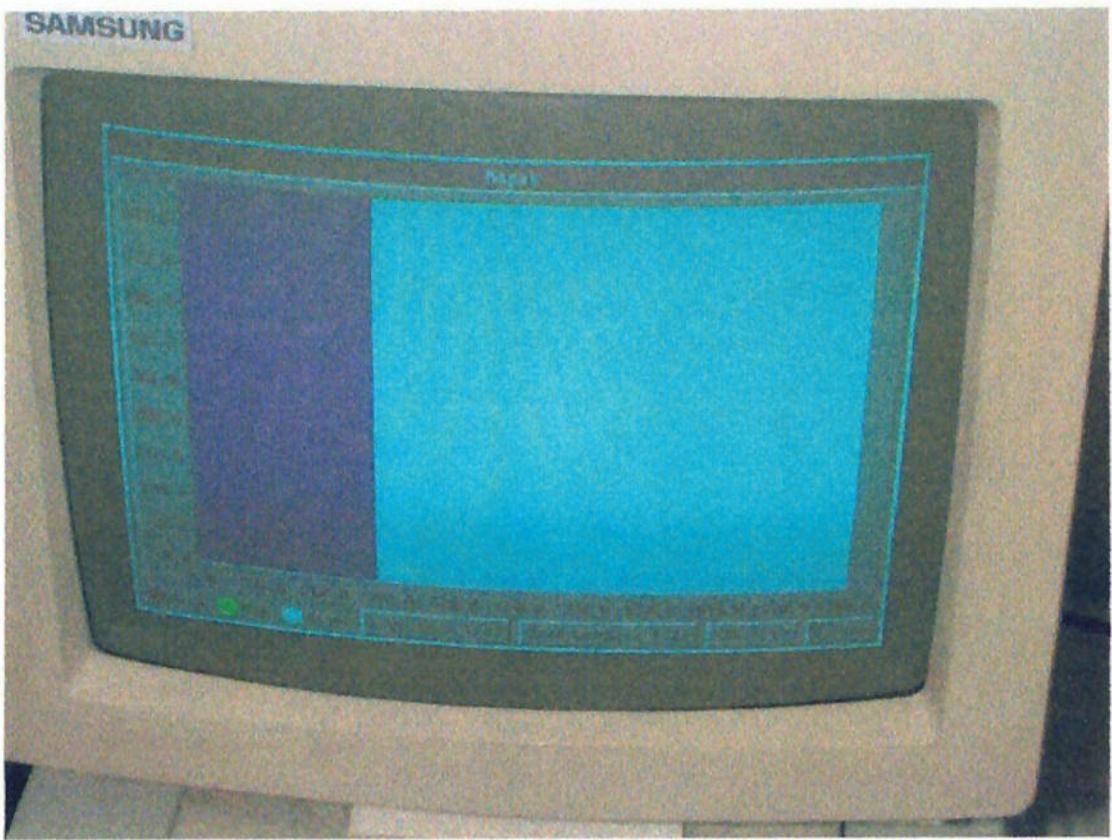


Figura 17 - Tela de mapeamento do Cilindro, na qual há botões de opção de visualização de cada tipo de defeito do cilindro

Listagem do Programa

```
#include <dos.h>
#include <conio.h>
#include <stdio.h>

#include "formatio.h"
#include "lwsystem.h"
#include "userint.h"
#include "utility.h"
#include "painel4.h"
#include "cilfunc.h"
#include "dma.h"

/*= STATIC VARIABLE DECLARATIONS =====*/
static int far panelHandle[4];
static int far eventPanelID[1];
static int far eventControl[2];
static int far loopDoneFlag[1];
static char far cilnumber[11];
static int far file,file2;
static long far array6[DATASIZE]; //espessura
static long far array8[DATASIZE]; //transversal
static int far array7[DATASIZE]; //espessura
static int far array9[DATASIZE]; //transversal
static int far EspMax,EspMin;
static int far resrad,resax;

struct CONFIG config;      /*estrutura de configuracao com maquina */

/*= FUNCOES DE CONTROLE =====*/
void tchau(){
    SetCtrlVal(panelHandle[insp],insp_progsc,0);
    SavePanelState(panelHandle[insp],"inspsv");
    SavePanelState(panelHandle[Configpn],"confsv");
    UnloadPanel (panelHandle[insp]);
    loopDoneFlag[0]=1;
}

*****
void PegaPontos()
```

Essa funcao ativa o Dma e a varredura e deixa os arquivos temporarios prontos

```
void PegaPontos(){

    struct DmaBuffer* DMA;
    unsigned char far * ptr;
    long i,          //Conta posicao no buffer do Dma
            n,          //Numero de pontos
            p;          //Posicao no cilindro
    int j,           //posicao nas matrizes espessura
            k,           //posicao nas matrizes transversal
    file,file2; //FILE-HOLDERS

    //Dispara varredura
    i=StartSweep();
    if(i<0) MessagePopup("Comando nao aceito.Tente denovo");

    // Abre e configura Dma
    DMA = DmaAlloc(CH,WSIZE);
    ptr= (unsigned char far *) DMA->buffer;
    DmaSet(DMA);
    DmaUnmask(CH);

    //Cria arquivos temporarios('temp' recebe espessura e 'temp2' recebe transversal
    file=OpenFile("temp",0,0,0);
    file2=OpenFile("temp2",0,0,0);

    //numero de pontos que vao ser lidos
    n=(config.z_final-config.z_inicial)*722/(resax*resad);

    /* Pega os pontos e, se espessura for menor que 'EspMax'
       guarda a posicao em 'array6' e o valor em 'array7'
       Se voltar eco nos transversais guarda posicao em 'array8'
       e valor em 'array9'*/
    p=0;j=0;k=0;
    for(i=3;(i<WSIZE)&&(p<n);i+=8,p++){
        if(ptr[i]<EspMax){
            array6[j]=p;
            array7[j]=(char) ptr[i];
            j++;
            if(j==DATASIZE){
                FmtFile(file,"%*i[b4]<%*i[b4]",j,j,array6);
                FmtFile(file,"%*c<%*d",j,j,array7);
                j=0;
            }
        }
    }
}
```

```

if(ptr[i+1]<40){ //Falta ver especificacao
    array8[k]=p;
    array9[k]=12;
    k++;
    if(k==DATASIZE){
        FmtFile(file2,"%*i[b4]<%*i[b4]",k,k,array8);
        FmtFile(file2,"%*c<%*d",k,k,array9);
        k=0;
    }
}
else if(ptr[i+2]<40){ //Falta ver especificacao
    array8[k]=p;
    array9[k]=1;
    k++;
    if(k==DATASIZE){
        FmtFile(file2,"%*i[b4]<%*i[b4]",k,k,array8);
        FmtFile(file2,"%*c<%*d",k,k,array9);
        k=0;
    }
}
else if(ptr[i+3]<40){ //Falta ver especificacao
    array8[k]=p;
    array9[k]=4;
    k++;
    if(k==DATASIZE){
        FmtFile(file2,"%*i[b4]<%*i[b4]",k,k,array8);
        FmtFile(file2,"%*c<%*d",k,k,array9);
        k=0;
    }
}
else if(ptr[i+4]<40){ //Falta ver especificacao
    array8[k]=p;
    array9[k]=2;
    k++;
    if(k==DATASIZE){
        FmtFile(file2,"%*i[b4]<%*i[b4]",k,k,array8);
        FmtFile(file2,"%*c<%*d",k,k,array9);
        k=0;
    }
}

// Se usuario parar a varredura
GetUserEvent(0, &eventPanelID[0], &eventControl[0]);
if(eventControl[0]==insp_sweep){
    k=Emergencia();
    if(k<0) MessagePopup("PIC nao aceitou comando");
    break;
}

```

```

//Atualiza escala
    SetCtrlVal(panelHandle[insp],insp_progsc,100*p/n);
}

//Escreve os pontos que faltavam
FmtFile(file,"%*i[b4]<%*i[b4]",j,j,array6);
FmtFile(file,"%*c<%*d",j,j,array7);
FmtFile(file2,"%*i[b4]<%*i[b4]",k,k,array8);
FmtFile(file2,"%*c<%*i",k,k,array9);

//Fecha os arquivos
CloseFile(file);
CloseFile(file2);

StopSweep(); //Acaba varredura
sound(440); //Apita
delay(1000);
nosound();

//Fecha DMA
DmaMask(CH);

}

void Save(int ver){

    int i,m,n,a;
    long size,confirma,size2;
    char path[100],dados[DATASIZE];

    confirma=0;
    while(!confirma){
        m=FileSelectPopup ("c:\\", "", "Salvar", 0, 0, 1, path);
        if(m==0) confirma=2;
        else if(m==2) confirma=1;
        else if(m==1){
            confirma=ConfirmPopup("Esse arquivo ja existe. Deseja
continuar?");
            if(confirma==1) DeleteFile(path);
        }
    }
    if((confirma==1)&&(ver==0)){
        file=OpenFile(path,0,0,0);
        file2=OpenFile("temp",1,0,0);
        GetFileSize("temp",&size);
        GetFileSize("temp2",&size2);
    }
}

```

```

        FmtFile(file,"%s<%s    %d    %d    %d    %d    %i[b4]    %i[b4]
",cilnumber,config.z_inicial,config.z_final,resax,resrad,&size,&size2);
        n=size/DATASIZE;
        a=0;
        while(a<=n){
            if(a<n) m=DATASIZE;
            else m=size-a*DATASIZE;
            ReadFile (file2, dados, m);
            WriteFile (file, dados, m);
            a++;
        }
        CloseFile(file2);
        file2=OpenFile("temp2",1,0,0);
        n=size2/DATASIZE;
        a=0;
        while(a<=n){
            if(a<n) m=DATASIZE;
            else m=size2-a*DATASIZE;
            ReadFile (file2, dados, m);
            WriteFile (file, dados, m);
            a++;
        }
        CloseFile(file);
        CloseFile(file2);
    }
    if((confirma==1)&&(ver==1)) RenameFile ("temp6", path);

}

void Load(int ver){

    int i,j,n,m,file3,a,err;
    long size,size2;
    char path[100],dados[DATASIZE];

    err=2;
    while(err==2){
        err=FileSelectPopup ("c:\programs\lw\programs", "", "Carregar", 0, 0, 1,
path);
        if(err==2) MessagePopup("O arquivo selecionado nao existe.Escolha
outro.");
    }
    if((err==1)&&(ver==0)){
        file=OpenFile(path,1,0,0);
        file2=OpenFile("temp",0,0,0);
        file3=OpenFile("temp2",0,0,0);
        ScanFile(file,"%s>%s    %d    %d    %d    %d    %i[b4]
%i[b4]",cilnumber,&config.z_inicial,&config.z_final,&resax,&resrad,&size,&size2);
    }
}

```

```

SetCtrlVal(panelHandle[insp],insp_cilnumber,cilnumber);
SetCtrlVal(panelHandle[insp],insp_Z_INIC,config.z_inicial);
SetCtrlVal(panelHandle[insp],insp_Z_FIM,config.z_final);
SetCtrlVal(panelHandle[insp],insp_resax,resax-1);
SetCtrlVal(panelHandle[insp],insp_resrad,resrad-1);
n=size/DATASIZE;
a=0;
while(a<=n){
    if(a<n) m=DATASIZE;
    else m=size-a*DATASIZE;
    ReadFile (file, dados, m);
    WriteFile (file2, dados, m);
    a++;
}
n=size2/DATASIZE;
a=0;
while(a<=n){
    if(a<n) m=DATASIZE;
    else m=size2-a*DATASIZE;
    ReadFile (file, dados, m);
    WriteFile (file3, dados, m);
    a++;
}
CloseFile(file);
CloseFile(file2);
CloseFile(file3);
}
if((ver==1)&&(err==1)) CopyFile (path, "temp6");

}

void Verifica(int cParam,int ent){

char c[30];
int status;

status=RequestConfig(cParam);
if(status!=ent){
    Fmt(c,"%s<Erro de Comunicacao:%d",cParam);
    MessagePopup(c);
}
}

void Mapeia(int ver){

char co[8];

```

```

int i,j,c,m,a,b,n;
long size,d;
double x,y;

y=0;
DeleteGraphPlot (panelHandle[map], map_map1, -1, 1);
SetAxisRange(panelHandle[map], map_map1, 0, config.z_inicial,
config.z_final, -1, 6, 7);
PlotRectangle(panelHandle[map], map_map1, config.z_inicial, 0, config.z_final,
722, 11, 11);
i=(EspMax-EspMin)/8;
for(j=0;j<7;j++) co[j]=EspMin+(j+1)*i;

/* *** MAPEIA ESPESSURA *****/
if(ver==0){
    SetCtrlAttribute(panelHandle[map],map_led6,16,1);
    SetCtrlAttribute(panelHandle[map],map_led7,16,1);
    SetCtrlAttribute(panelHandle[map],map_led4,0,"Bom");
    SetCtrlAttribute(panelHandle[map],map_led4,7,10);
    SetCtrlAttribute(panelHandle[map],map_led3,16,0);
    SetCtrlAttribute(panelHandle[map],map_led5,0,"Ruim");
    DisplayPanel(panelHandle[map]);
    file=OpenFile("temp",1,0,0);
    GetFileSize ("temp", &size);
    if(size!=0){
        n=size/5*(DATASIZE);
        size/=5;
        a=0;
        while(a<=n){
            if(a<n) m=DATASIZE;
            else m=size-DATASIZE*a;
            ScanFile(file,"%*i[b4]>%*i[b4]",m,m,array6);
            ScanFile(file,"%*c>%*d",m,m,array7);
            i=0;
            m-=1;
            while(i<m){
                b=config.z_inicial+array6[i]*resrad*resax/722;
                d=array6[i];
                d=d*resrad*resax%722;
                for(j=0;(j<(722-
d)/resrad)&&(j+i<m)&&(array7[i+j]==array7[i+j+1])&&(array6[i+j+1]==array6[i+j]+
1);j++);
                x=b;
                y=d;
                if(array7[i]<EspMin) c=4;
                else if((array7[i]>=EspMin)&&(array7[i]<co[0])) c=5;
                else if((array7[i]>=co[0])&&(array7[i]<co[1])) c=13;
            }
        }
    }
}

```

```

else if((array7[i]>=co[1])&&(array7[i]<co[2])) c=12;
else if((array7[i]>=co[2])&&(array7[i]<co[3])) c=2;
else if((array7[i]>=co[3])&&(array7[i]<co[4])) c=10;
else if((array7[i]>=co[4])&&(array7[i]<co[5])) c=14;
else if((array7[i]>=co[5])&&(array7[i]<co[6])) c=9;
else if((array7[i]>=co[6])&&(array7[i]<EspMax)) c=3;
j++;
PlotRectangle(panelHandle[map], map_map1, x, y, x+resax, y+resrad*j,
c, c);
i+=j;
}
a++;
}
CloseFile(file);
}
}

/*
***** MAPEIA TRANS *****
if(ver==1){
SetCtrlAttribute(panelHandle[map],map_led3,16,1);
SetCtrlAttribute(panelHandle[map],map_led6,16,0);
SetCtrlAttribute(panelHandle[map],map_led7,16,0);
SetCtrlAttribute(panelHandle[map],map_led5,0,"T_DIR");
SetCtrlAttribute(panelHandle[map],map_led4,0,"T_ESQ");
SetCtrlAttribute(panelHandle[map],map_led4,7,2);
DisplayPanel(panelHandle[map]);
file2=OpenFile("temp2",1,0,0);
GetFileSize("temp2",&size);
if(size!=0){
    size=size/5;
    ScanFile(file2,"%*i[b4]>%*i[b4]",(int) size,(int) size, array8);
    ScanFile(file2,"%*c>%*i", (int) size,(int) size, array9);
    a=0;
    i=0;
    while(i<size){
        b=config.z_inicial+array8[i]*resrad*resax/722;
        d=array8[i];
        d=d*resrad*resax%722;
        for(j=0;(j<(722-
d)/resrad)&&(j+i<size)&&(array8[i+j+1]==array8[i+j]+1)&&(array9[i+j+1]==array9[i+
+j]+1);j++);
        x=b;
        y=d;
        j++;
        PlotRectangle(panelHandle[map], map_map1, x, y, x+resax, y+resrad*j,
array9[i], array9[i]);
        i+=j;
    }
}
}

```

```

        }
        CloseFile(file2);
    }
}

void FazLog(){
    char *c,d[40],e[1];
    int n,i,l,count,m,file6,a,h;
    long p,size;

    file=OpenFile("temp",1,0,0);
    file2=OpenFile("temp2",1,0,0);
    file6=OpenFile("temp6",0,0,1);

    SetCtrlVal (panelHandle[logpn],logpn_cilnumber,cilnumber);
    FmtFile(file6,"*****
*****\n\n");
    Fmt(d,"          Cilindro n. %s ", cilnumber);
    SetCtrlVal (panelHandle[logpn],logpn_logtext,d);
    FmtFile(file6,"          Cilindro n.%s \n \n",cilnumber);
    d[0]=0;
    e[0]=0;
    GetFileSize("temp",&size);
    if(size!=0){
        size/=5*DATASIZE;
        a=0;
        while(a<=size){
            if(a<size) m=DATASIZE;
            else m=size-a;
            ScanFile(file,"%*i[b4]>%*i[b4]",m,m,array6);
            ScanFile(file,"%*c>%*d",m,m,array7);
            a+=DATASIZE;
            for(i=0;i<m;i++){
                if(array7[i]<EspMin){
                    if(e[0]==0){
                        c=" Altura:      Tipo:      Erro:";
                        FmtFile(file6,"          Altura:      Tipo:      Erro: \n \n");
                        SetCtrlVal(panelHandle[logpn],logpn_logtext,c);
                        e[0]=1;
                    }
                h=config.z_inicial+array6[i]*resrad*resax/722;
                if(h<10){
                    Fmt(d, "    %d      ESP      %d", h, array7[i]);
                }
            }
        }
    }
}

```

```

        FmtFile(file6,"%d",ESP,"%d \n",h,
array7[i]);
    }
    else if((h>=10)&&(h<100)){
        Fmt(d, "%d", ESP, "%d", h, array7[i]);
        FmtFile(file6,"%d",ESP,"%d \n",h,
array7[i]);
    }
    else if((h>=100)&&(h<1000)){
        Fmt(d, "%d", ESP, "%d", h, array7[i]);
        FmtFile(file6,"%d",ESP,"%d \n",h, array7[i]);
    }
    else if(h>=1000){
        Fmt(d, "%d", ESP, "%d", h, array7[i]);
        FmtFile(file6,"%d",ESP,"%d \n",h, array7[i]);
    }
    SetCtrlVal(panelHandle[logpn],logpn_logtext,d);
}
}
}
}
GetFileSize("temp2",&size);
if(size!=0){
    size/=4;
    for(i=0;i<size;i++){
        if(e[0]==0){
c=" Altura:    Tipo:    Erro: ";
        FmtFile(file6,"Altura:    Tipo:    Erro: \n \n");
        SetCtrlVal(panelHandle[logpn],logpn_logtext,c);
        e[0]=1;
        }
        h=config.z_inicial+array6[i]*resrad*resax/722;
        if(h<10){
            Fmt(d, "%d", TRANS ", h);
            FmtFile(file6,"%d", TRANS \n", h);
        }
        else if((h>=10)&&(h<100)){
            Fmt(d, "%d", TRANS ", h);
            FmtFile(file6,"%d", TRANS \n", h);
        }
        else if((h>=100)&&(h<1000)){
            Fmt(d, "%d", TRANS ", h);
            FmtFile(file6,"%d", TRANS \n", h);
        }
        else if(h>=1000){
            Fmt(d, "%d", TRANS ", h);
            FmtFile(file6,"%d", TRANS \n", h);
        }
    }
}

```

```

        SetCtrlVal(panelHandle[logpn],logpn_logtext,d);
    }
}

if(d[0]==0){
    c="      Nao ha erros";
    SetCtrlVal(panelHandle[logpn],logpn_logtext,c);
    FmtFile(file6,"      Nao ha erros. \n \n");
}
FmtFile(file6,"*****");
*****");
};

CloseFile(file);
CloseFile(file2);
CloseFile(file6);

}

void LogPrn(){
/*    int err;
    system ("type temp6>prn"); */
}

/*=MAIN PROGRAM =====*/
main(){

char buf[2];

panelHandle[insp] = LoadPanel ("\.\paine14.uir", insp);
panelHandle[map]= LoadPanel ("\.\paine14.uir", map);
panelHandle[Configpn]= LoadPanel ("\.\paine14.uir", Configpn);
panelHandle[logpn]= LoadPanel ("\.\paine14.uir", logpn);
RecallPanelState(panelHandle[insp],"inspsv");
RecallPanelState(panelHandle[Configpn],"confsv");
GetCtrlVal (panelHandle[insp],insp_Z_INIC,&config.z_inicial);
GetCtrlVal (panelHandle[insp],insp_Z_FIM,&config.z_final);
GetCtrlVal (panelHandle[insp],insp_espmin,&EspMin);
GetCtrlVal (panelHandle[insp],insp_espmax,&EspMax);
GetCtrlVal (panelHandle[insp],insp_resax,buf);
GetCtrlVal (panelHandle[insp],insp_cilnumber,cilnumber);
resax=buf[0]-48;
GetCtrlVal (panelHandle[insp],insp_resrad,buf);
resrad=buf[0]-48;
DisplayPanel(panelHandle[insp]);

SetZinicial(config.z_inicial);
Verifica(P_Z_INICIAL_LOW,config.z_inicial);
SetZfinal(config.z_final);
}

```

```

Verifica(P_Z_FINAL_HIGH,config.z_final);
SetKsteps(722/resrad);
Verifica(P_K_STEPS,722/resrad);
SetTamost(500*resrad/722);
Verifica(P_T_AMOST,500*resrad/722);

loopDoneFlag[0] = 0;
while (!loopDoneFlag[0]) {
    GetUserEvent (0, &eventPanelID[0], &eventControl[0]);
    if (eventPanelID[0] == panelHandle[insp]) {

        switch (eventControl[0]) {

            case insp_sair:
                tchau();
                break;

            case insp_Home:
                Home();
                break;

            case insp_cilnumber:
                GetCtrlVal (panelHandle[insp],insp_cilnumber,cilnumber);
                break;

            case insp_Z_INIC:
                GetCtrlVal (panelHandle[insp],insp_Z_INIC,&config.z_inicial);
                SetZinicial(config.z_inicial);
                Verifica(P_Z_INICIAL_LOW,config.z_inicial);
                break;

            case insp_Z_FIM:
                GetCtrlVal (panelHandle[insp],insp_Z_FIM,&config.z_final);
                SetZfinal(config.z_final);
                Verifica(P_Z_FINAL_HIGH,config.z_final);
                break;

            case insp_sweep:
                GetCtrlVal (panelHandle[insp],insp_sweep,&eventControl[1]);
                switch (eventControl[1]){
                    /*      case 0:
                            StopSweep();
                            SetCtrlVal (panelHandle[insp], insp_led2, 0);
                            SetCtrlVal (panelHandle[insp], insp_sweep, 0);
                            break;
                    */
                    case 1:
                        PegaPontos();
                }
        }
    }
}

```

```

        SetCtrlVal (panelHandle[insp], insp_led2, 0);
        SetCtrlVal (panelHandle[insp], insp_sweep, 0);
        break;
    }
    break;

case insp_Motor:
    GetCtrlVal (panelHandle[insp],insp_Motor,&eventControl[1]);
    switch (eventControl[1]){
        case 0:
            StopMotor();
            SetCtrlVal (panelHandle[insp], insp_led, 0);
            break;
        case 1:
            StartMotor();
            SetCtrlVal (panelHandle[insp], insp_led, 1);
            break;
    }
    break;

case insp_M:
    HidePanel(panelHandle[insp]);
    Mapeia(1);
    break;

case insp_resax:
    GetCtrlVal (panelHandle[insp],insp_resax,buf);
    resax=buf[0]-48;
    break;

case insp_resrad:
    GetCtrlVal (panelHandle[insp],insp_resrad,buf);
    resrad=buf[0]-48;
    break;

case insp_espmin:
    GetCtrlVal (panelHandle[insp],insp_espmin,&EspMin);
    break;

case insp_espmax:
    GetCtrlVal (panelHandle[insp],insp_espmax,&EspMax);
    break;

case insp_save:
    Save(0);
    break;

case insp_load:

```

```

        Load(0);
        break;

    case insp_log:
        SetInputMode(panelHandle[insp],-1,0);
        DisplayPanel(panelHandle[logpn]);
        SetCtrlVal(panelHandle[logpn],logpn_cilnumber,cilnumber);
        break;

    case insp_config:
        DisplayPanel(panelHandle[Configpn]);
        SetInputMode(panelHandle[insp],-1,0);
        break;
    }

}

if(eventPanelID[0] == panelHandle[map]){

switch (eventControl[0]) {

    case map_voltar1:
        HidePanel(panelHandle[map]);
        DeleteGraphPlot (panelHandle[map], map_map1, -1, 1);
        DisplayPanel(panelHandle[insp]);
        break;

    case map_e:
        eventControl[1]=0;
        Mapeia(0);
        break;

    case map_trans:
        eventControl[1]=1;
        Mapeia(1);
        break;

    case map_log:
        DisplayPanel(panelHandle[logpn]);
        SetCtrlVal(panelHandle[logpn],logpn_cilnumber,cilnumber);
        SetInputMode(panelHandle[map],-1,0);
        break;

}
}

if(eventPanelID[0] == panelHandle[Configpn]){

switch (eventControl[0]) {

```

```

        case Configpn_nivel1:                                GetCtrlVal
(panelHandle[Configpn],Configpn_nivel1,&config.nivel_E1);
    SetNivel(0, config.nivel_E1);
    Verifica(P_NIVEL_E1, config.nivel_E1);
    break;

        case Configpn_nivel2:                                GetCtrlVal
(panelHandle[Configpn],Configpn_nivel2,&config.nivel_E2);
    SetNivel(1, config.nivel_E2);
    Verifica(P_NIVEL_E2, config.nivel_E2);
    break;

        case Configpn_nivtup1:                                GetCtrlVal
(panelHandle[Configpn],Configpn_nivtup1,&config.nivel_T_UP1);
    SetNivel(2, config.nivel_T_UP1);
    Verifica(P_NIVEL_T_UP1, config.nivel_T_UP1);
    break;

        case Configpn_nivtup2:                                GetCtrlVal
(panelHandle[Configpn],Configpn_nivtup2,&config.nivel_T_UP2);
    SetNivel(3, config.nivel_T_UP2);
    Verifica(P_NIVEL_T_UP2, config.nivel_T_UP2);
    break;

        case Configpn_nivtdw1:                                GetCtrlVal
(panelHandle[Configpn],Configpn_nivtdw1,&config.nivel_T_DW1);
    SetNivel(4, config.nivel_T_DW1);
    Verifica(P_NIVEL_T_DW1, config.nivel_T_DW1);
    break;

        case Configpn_nivtdw2:                                GetCtrlVal
(panelHandle[Configpn],Configpn_nivtdw2,&config.nivel_T_DW2);
    SetNivel(5, config.nivel_T_DW2);
    Verifica(P_NIVEL_T_DW2, config.nivel_T_DW2);
    break;

        case Configpn_nivtr1:                                GetCtrlVal
(panelHandle[Configpn],Configpn_nivtr1,&config.nivel_T_R1);
    SetNivel(6, config.nivel_T_R1);
    Verifica(P_NIVEL_T_R1, config.nivel_T_R1);

```

```

        break;

    case Configpn_nivtr2:                                GetCtrlVal
        (panelHandle[Configpn],Configpn_nivtr2,&config.nivel_T_R2);
            SetNivel(7, config.nivel_T_R2);
            Verifica(P_NIVEL_T_R2, config.nivel_T_R2);
            break;

    case Configpn_nivtl1:                                GetCtrlVal
        (panelHandle[Configpn],Configpn_nivtl1,&config.nivel_T_L1);
            SetNivel(8, config.nivel_T_L1);
            Verifica(P_NIVEL_T_L1, config.nivel_T_L1);
            break;

    case Configpn_nivtl2:                                GetCtrlVal
        (panelHandle[Configpn],Configpn_nivtl2,&config.nivel_T_L2);
            SetNivel(9, config.nivel_T_L2);
            Verifica(P_NIVEL_T_L2, config.nivel_T_L2);
            break;

    case Configpn_tamost:                               GetCtrlVal
        (panelHandle[Configpn],Configpn_tamost,&config.t_amost);
            SetTamost(config.t_amost);
            Verifica(P_T_AMOST,config.t_amost);
            break;

    case Configpn_ttrans:
        GetCtrlVal (panelHandle[Configpn],Configpn_ttrans,&config.t_trans);
        SetTtrans(config.t_trans);
        Verifica(P_T_TRANS,config.t_trans);
        break;

    case Configpn_ex:
        HidePanel(panelHandle[Configpn]);
        DisplayPanel(panelHandle[insp]);
        SetInputMode(panelHandle[insp],-1,1);
        break;

    }

}

if(eventPanelID[0] == panelHandle[logpn]){
    switch (eventControl[0]) {

```

```
case logpn_logfaz:  
    FazLog();  
    break;  
  
case logpn_logprn:  
    LogPrn();  
    break;  
  
case logpn_logsav:  
    Save(1);  
    break;  
  
case logpn_logload:  
    Load(1);  
    break;  
  
case logpn_logexit:  
    HidePanel(panelHandle[logpn]);  
    DisplayPanel(panelHandle[insp]);  
    SetInputMode(panelHandle[insp], -1, 1);  
    SetInputMode(panelHandle[map], -1, 1);  
    break;  
}  
}  
}
```

11.4. Fotos do Protótipo

Nas Figuras a seguir estão as fotos do equipamento.



Figura 18 - Vista geral do equipamento - Cilindro de teste ao lado



Figura 19 - Vista geral do equipamento - Cilindro fixado - Parte eletrônica com computador à direita do equipamento



Figura 20 - Mancal inferior do equipamento, com as placas de reservatório

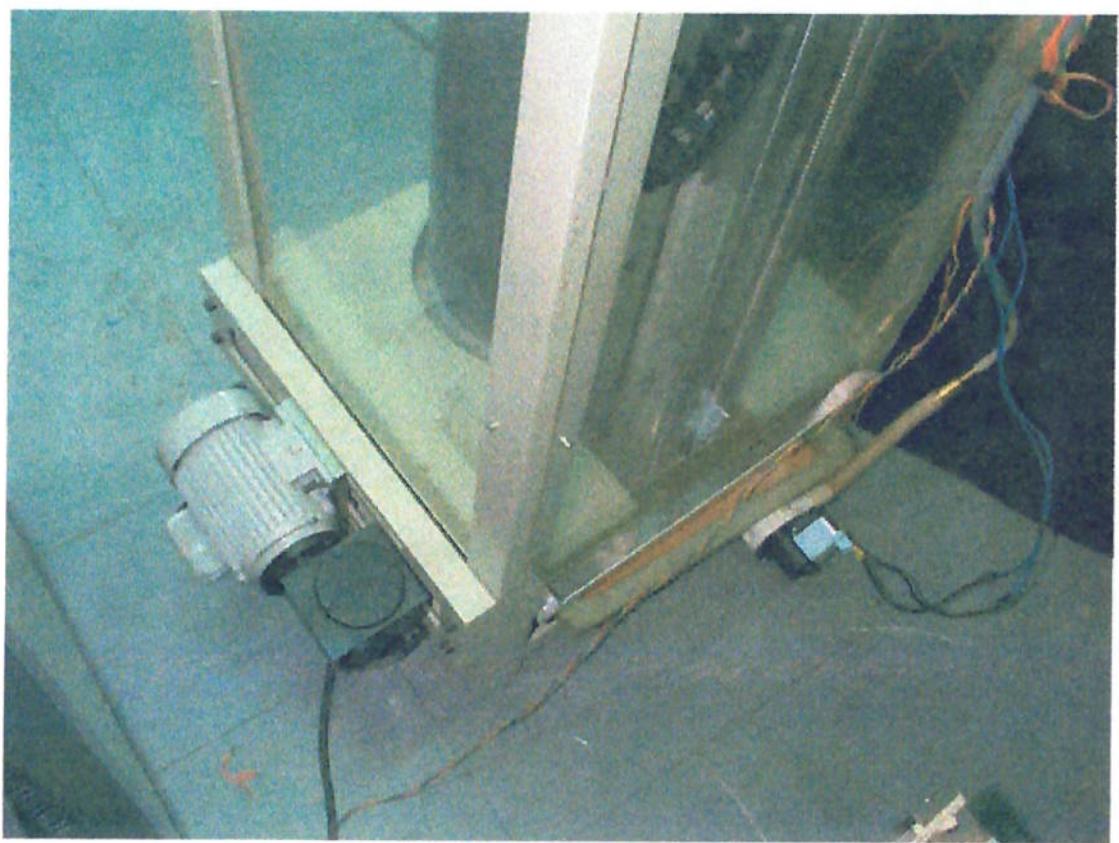


Figura 21 - Perspectiva traseira do equipamento, mostrando o motorredutor e o tanque com a bomba instalada

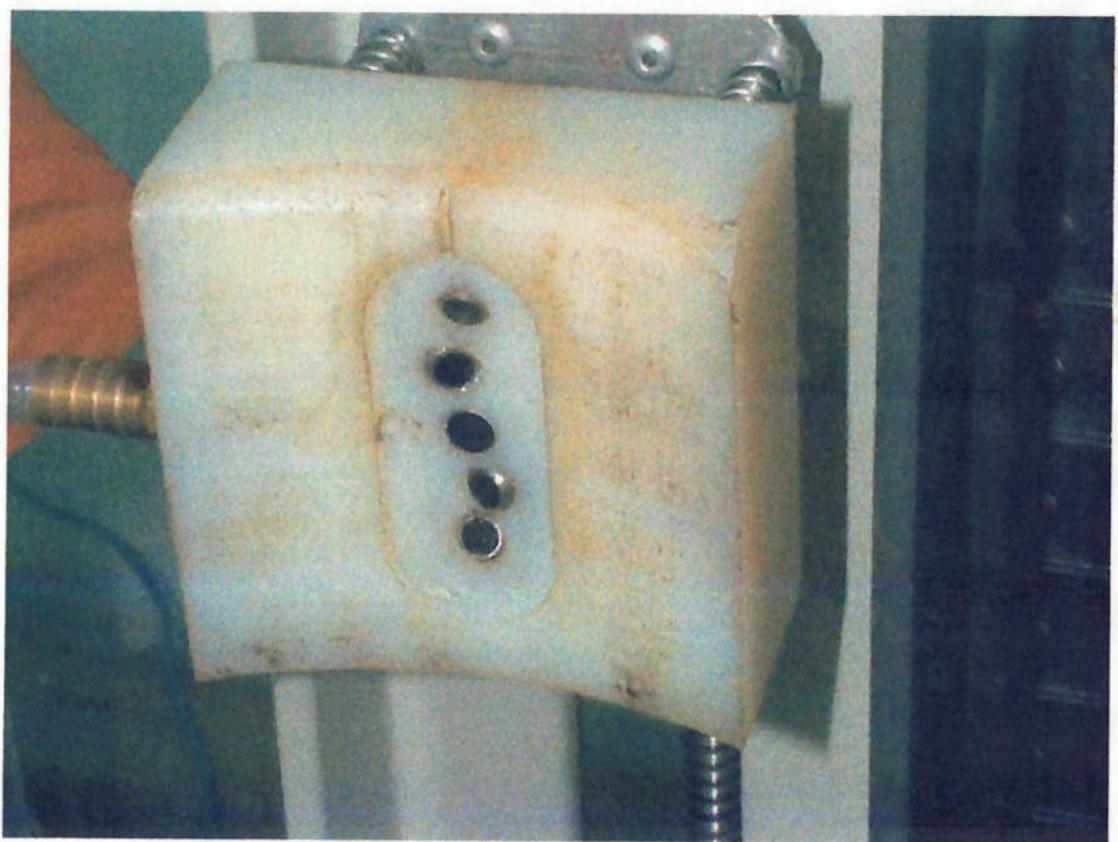


Figura 22 - Suporte dos transdutores com mangueira instalada e sistema de molas

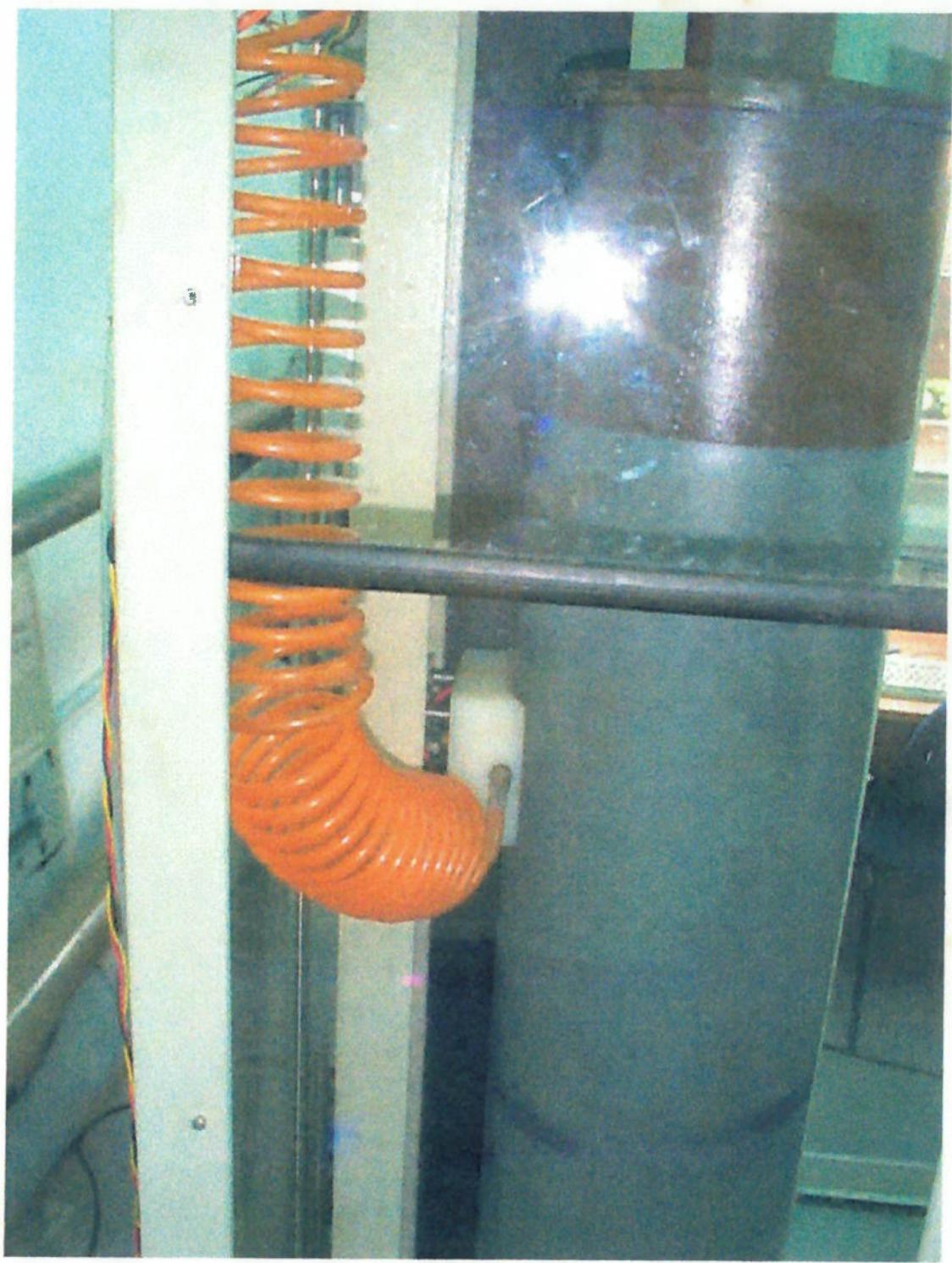


Figura 23 - Suporte dos transdutores encaixado à parede do cilindro