

LUÍS GUSTAVO DEYUST DOS SANTOS

**PROPOSTA DE TÉCNICA DE MEDIÇÃO DE CONSUMO
DE COMBUSTÍVEL EM VEÍCULOS AUTOMOTIVOS -
SISTEMA MECÂNICO**

*Trabalho apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para conclusão das
disciplinas Projeto Mecânico I e II*

São Paulo - 1999

Dez
Am

LUÍS GUSTAVO DEYUST DOS SANTOS

**PROPOSTA DE TÉCNICA DE MEDIÇÃO DE CONSUMO
DE COMBUSTÍVEL EM VEÍCULOS AUTOMOTIVOS -
SISTEMA MECÂNICO**

*Trabalho apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para conclusão das
disciplinas Projeto Mecânico I e II*

Área: Energia e Fluidos

*Professor Orientador:
Antonio Luis de C. Mariani*

*Co-orientador:
Rui José C. Baptista*

São Paulo - 1999

Dedicatória

Aos meus pais,
À minha namorada Daniela.

Agradecimentos

Ao meu professor coordenador, que nos incentivou constantemente neste trabalho de formatura,

Ao meu amigo Rafael, na ajuda das tomadas de decisões e soluções para este trabalho de formatura,

À BLUE TEC, que nos deu total apoio técnico e financeiro,

Ao Sr. Rui L. C. Baptista, pelos ensinamentos técnicos,

Ao Prof. Dr. Maurício Trielli, que viabilizou ensaiar o protótipo no IPT,

Ao Sr. José Guilherme Campetella, pelo apoio na construção do protótipo e pelas críticas construtivas.

ÍNDICE

RESUMO	1
INTRODUÇÃO GERAL	2
PARTE A	3
A.1. APRESENTAÇÃO	4
A.2. INTRODUÇÃO	7
A.3. OBJETIVOS	8
A.4. DESCRIÇÕES DE TÉCNICAS PARA MEDIÇÃO DE NÍVEIS DE LÍQUIDOS EM RESERVATÓRIOS	9
A.4.1. TÉCNICA UTILIZANDO FLUTUADORES	10
A.4.2. TÉCNICA UTILIZANDO SENSORES ELÉTRICOS	10
A.4.3. TÉCNICA UTILIZANDO SENSORES DE PRESSÃO	11
A.4.4. TÉCNICA UTILIZANDO SENSORES PIEZOELÉTRICOS	12
A.4.5. TÉCNICA UTILIZANDO SENSORES ULTRASSÔNICOS	12
A.5. CALIBRAÇÃO	13
A.6. MODELOS ANALISADOS	14
A.6.1. MECANISMO DO TIPO BÓIA	14
A.6.2. APLICAÇÃO DE SENSORES DE PRESSÃO	18
A.6.3. MEDIDORES DE VAZÃO DE ENGRENAGENS	22
A.7. ENSAIOS E TESTES	23
A.7.1. MEDIDOR DE NÍVEL COM AVALIAÇÃO DA PRESSÃO	23
A.7.2. MEDIDOR DE NÍVEL DO TIPO BÓIA	26
A.8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	28

PARTE B.....	29
B.1. ESTUDO DE VIABILIDADE: CONCLUSÃO	30
B.1.1 SOLUÇÃO DA MELHOR ALTERNATIVA.....	30
B1.2. ANÁLISE E RESULTADO A PARTIR DA MATRIZ DE DECISÃO: MEDIDOR DE VAZÃO DE ENGRENAGENS	31
<i>B.1.2.1. Fluxo pulsante</i>	<i>32</i>
<i>B.1.2.2. Bolhas de ar</i>	<i>32</i>
<i>B.1.2.3. Retorno após a bomba injetora</i>	<i>32</i>
<i>B.1.2.4. Perda de carga.....</i>	<i>33</i>
B.2. PROJETO BÁSICO	33
B.2.1. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO MEDIDOR DE ENGRENAGENS.....	33
B.2.2. DIMENSIONAMENTO	36
<i>B.2.2.1. Configuração da geometria e componentes do medidor.....</i>	<i>36</i>
<i>B.2.2.2. Definição das medidas e adaptações para o desenho de fabricação</i>	<i>38</i>
B.2.3. SELEÇÃO DE MATERIAIS	40
<i>B.2.3.1. Technyl.....</i>	<i>40</i>
<i>B.2.3.2. Poliacetal.....</i>	<i>42</i>
<i>B.2.3.3. Acrílico.....</i>	<i>44</i>
<i>B.2.3.4. Imã</i>	<i>44</i>
B.3. PROCESSO DE FABRICAÇÃO	45
B.3.1. FABRICAÇÃO DAS ENGRENAGENS.....	45
<i>B.3.1.1. Buchas da engrenagem</i>	<i>46</i>
<i>B.3.1.2. Eixos de centralização.....</i>	<i>46</i>
<i>B.3.1.3. Contra molde.....</i>	<i>46</i>
<i>B.3.1.4. Molde</i>	<i>47</i>
B.3.2. CÂMARA E TAMPAS	48
B.3.3. MONTAGEM E TESTES	48
B.3.4. RESULTADOS	49
B.3.5. MODIFICAÇÕES	49

B.4. PRINCÍPIO DE MONITORAÇÃO ELETROMAGNÉTICA.....	51
B.5. METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS.....	55
B.5.1. ENSAIOS NOS LABORATÓRIOS DE MECÂNICA DOS FLUIDOS E MÁQUINAS HIDRÁULICAS	56
B.5.2. ENSAIOS NO IPT	57
B.6. DESCRIÇÃO DAS BANCADAS DE ENSAIO	58
B.7 DADOS EXPERIMENTAIS	62
B.8. RESULTADOS.....	65
B.9. ANÁLISE DOS RESULTADOS	69
B.9.1. ENSAIOS DO ECONOVIAS COM ÁGUA	69
B.9.2. ENSAIOS DO ECONOVIAS COM DIESEL	70
B.9.3. ENSAIOS DO PROTÓTIPO COM DIESEL	70
B.9.4. ENSAIOS NO IPT	71
B.10. CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS	73
 ANEXO I	 75
ANEXO II	83
 BIBLIOGRAFIA.....	 88

RESUMO

A proposta deste estudo consistiu em desenvolver um sistema adequado e de baixo custo para identificar o consumo de combustível em veículos automotivos, e que paralelamente fosse compatível com o computador de bordo Blue Bird da IBM.

O trabalho se divide em duas partes: A e B. Na parte A realizou-se o estudo comparativo de alternativas para medição de consumo de combustível e na parte B um medidor de vazão foi desenvolvido, fabricado e ensaiado.

Dentre as várias opções estudadas na parte A, chegou-se ao medidor de engrenagens ovais como a solução mais viável.

Inicialmente foi analisado o medidor de vazão de engrenagens Econovias da empresa Metroval, e posteriormente foi projetado um protótipo que propôs modificações que incluíram: fabricação do corpo do medidor de poliacetal, fabricação das engrenagens de resina epóxi e utilização do sensor Hall no sistema de detecção de pulsos.

Vários ensaios com diesel foram realizados com o Econovias e com o protótipo fabricado. A principal variável analisada foi a constante de vazão K, seu comportamento para vários valores de vazão e sua respectiva repetitividade. Durante os ensaios muitas propostas e soluções surgiram afim de se aprimorar o desempenho do protótipo.

Estão apresentados o estudo da viabilidade, o projeto básico, os resultados dos ensaios com as análises estatísticas e a análise de custo de fabricação.

Este trabalho foi realizado por dois autores, onde cada um deles enfatizou um determinado enfoque. Luís Gustavo Deyust dos Santos enfatizou em seu trabalho o sistema mecânico e Rafael Andrade Prato o sistema de sensoramento.

INTRODUÇÃO GERAL

Nas frotas de veículos o controle volumétrico exato de combustível se constitui numa necessidade primordial tendo em vista que o custo dos mesmos normalmente é elevado.

A proposta deste estudo consistiu em desenvolver um sistema com bom desempenho e de baixo custo para identificar o consumo de combustível em veículos automotivos, e que também fosse compatível com o computador de bordo BLUE BIRD da IBM.

O presente trabalho foi realizado na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo pelos alunos Luís Gustavo Deyust dos Santos e Rafael Andrade Prato e está dividido em duas partes, denominadas **A** e **B**:

- **Parte A:** Apresenta o estudo comparativo de alternativas para medição de consumo de combustível, comum aos dois autores.
- **Parte B:** Apresenta o desenvolvimento, fabricação e ensaios de um medidor de vazão de engrenagens, onde o aluno Luís Gustavo Deyust dos Santos foi o responsável pelo enfoque dos componentes mecânicos e o aluno Rafael Andrade Prato pelo enfoque do sistema eletrônico de sensoriamento.

PARTE A

ESTUDO COMPARATIVO DE ALTERNATIVAS PARA MEDIÇÃO DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

A.1. APRESENTAÇÃO

O complexo processo de projeto em Engenharia é objeto de infinitas variações. Para um trabalho de projeto em engenharia, devemos partir de pesquisas e de referências de trabalhos publicados, como também basear-nos na experiência prática e no ensino de projetos de engenharia. Desta forma a seqüência deste projeto torna-se natural e serve como ponto de partida na abordagem de problemas. Assim, através dos conhecimentos adquiridos nas disciplinas da escola, nos livros e manuais consultados e na troca de informações com especialistas sobre o assunto abordado pode-se inicializar-se o trabalho.

Usualmente faltam informações, e freqüentemente o projeto demanda mais conhecimento e experiência do que o engenheiro possui no momento. Entretanto, a "real necessidade" pode não ser óbvia neste primeiro contato com a situação indesejável. Como a confrontação é sempre tão indefinida, deve-se esclarecer o problema a ser resolvido. Reconhecer a real necessidade e então defini-la concretamente, em termos quantitativos para a tomada de ações. Foi assim que nos deparamos com o problema de medição de combustível de um tanque, onde precisávamos definir qual era o real problema. Seria realmente necessário somente se preocupar com o nível de combustível? ou também o consumo? Seria apenas melhorar um mecanismo existente? Criar um novo? Tudo isso foi discutido e analisado, de tal forma que pudéssemos tomar um procedimento que envolvesse todos esse aspectos, estudando e propondo soluções das mais variadas possíveis, que possibilitassem uma abrangência maior para contornar estes problemas.

Assim, o conhecimento desenvolvido é trazido para cobrir o problema como ele foi formulado, e todos os conceitos concebíveis do projeto são preparados em um esquema em forma de esqueleto, desenhando os campos selecionados tantos quanto possível. Deve ser lembrado que a criatividade é um grande ponto de aplicação. Se listarmos todas as idéias que se pode gerar ou assimilar, projetos alternativos e já existentes podem ser ligados a nossa solução, sendo que o mais promissor pode ser selecionado tendo em vista os requisitos e restrições. Isto fora feito, quando buscamos as soluções para a medição de nível já existentes no mercado.

Mesmo o sistema físico ou o componente mais simples é, normalmente, muito complexo para uma análise direta. Ele deve ser representado por um modelo ameno para avaliação analítica ou empírica. Abstraindo o modelo, deve-se empenhar-se para representar tantas características do sistema real quanto for possível. No caso não houve necessidade de abstração, pois tivemos acesso a dois equipamentos para ensaio e testes: o medidor da empresa Blue Tec e o medidor de bóia de caminhão (apresentados a seguir).

Na otimização de um sistema ou componente, deve-se decidir questões com respeito em qual critério ou combinação de critérios deve ser otimizado o projeto; quais os parâmetros do sistema podem ser manipulados; quais os limites destes parâmetros, ou seja, quais as restrições estão sujeitas ao sistema.

Nenhum projeto pode ser considerado completo até que ele seja apresentado (e aceito) por dois grupos de pessoas: as pessoas que vão utilizá-lo e as pessoas que vão fabricá-lo. Ou seja, devemos conciliar a necessidade de ambos, buscando uma solução de medição de nível melhor que a existente e que seja economicamente viável, compatível com preços do mercado.

A apresentação final de um projeto deve ser consequentemente entendida pelo possível usuário, e conter todos os detalhes necessários para permitir a fabricação e a construção pela indústria. Mas isso não vem ao propósito deste trabalho, uma vez que só atingiremos o projeto básico.

O Estudo de Viabilidade é a fase inicial de qualquer projeto, em que se chega a um conjunto de soluções plausíveis para o problema. O detalhamento deve ser apenas o suficiente para verificar viabilidade técnica e econômica da solução. O primeiro passo consiste em se determinar existência e natureza da necessidade que se admitiu inicialmente e defini-la perfeitamente, o que neste trabalho é a geração de novas formas de atender, velhas necessidades ou atendimento de nova necessidades, como aperfeiçoamento ou substituição da mecanismo de medição de nível de combustíveis.

A seguir é necessário especificar as exigências decorrentes das necessidades fixando-se suas características funcionais, operacionais e construtivas, limitações e critérios de projeto determinando assim as especificações técnicas do produto.

O passo seguinte é a elaboração de alternativas de solução que consiste na geração de concepções físicas que, em princípio, atendam às especificações à projeto. Estas concepções estarão ainda definidas apenas por esquemas, diagramas de bloco e esboços, mas já podem ser analisadas do ponto de vista técnico, econômico e financeiro. As concepções aprovadas nestas análises são consideradas soluções viáveis para o projeto.

Esta parte contém todas as informações utilizadas durante este primeiro semestre, buscando e analisando soluções (mecanismos) para medição do nível de combustível em veículos mais eficientes daquelas existentes, bem como, com custo compatível com aqueles realizados pelo mercado.

Este trabalho visa antes de mais nada um aprimoramento do material colhido e pesquisado, como por exemplo a solução proposta pela empresa Blue Tec, além de alguns detalhes adicionais, sugeridos por críticas previamente discutidas. Além disso conta com as experiências anteriormente realizadas pelo professor Antonio Luis de Campos Mariani que já atuou de forma bastante acentuada dentro da área em questão.

A.2. INTRODUÇÃO

O estudo consiste na busca de soluções de mecanismos para que se possa avaliar o consumo de combustível do veículo, relacionando-o inicialmente com o nível de combustível no tanque. Ele baseia-se em medidores tradicionais já existentes e abre a possibilidade para análise e desenvolvimento de novas propostas que se encontram disponíveis para o trabalho.

O projeto a ser desenvolvido está inserido dentro da teoria de mecânica dos fluidos e está sendo orientado pelo Professor Antônio Luís de Campos Mariani.

Nesta fase do estudo de viabilidade são propostas soluções, analisados custos e problemas de implementação envolvidos na medição de nível de tanques.

Existem vários aspectos motivadores associados aos problemas que citamos a seguir:

- Inexatidão dos sistemas de bóia existentes nos veículos;
- Suscetibilidade às inclinações dos veículos bem como acelerações e frenagens que provocam distorção dos valores de nível lidos no painel;
- Dificuldade da implementação de soluções com aplicação de sensores de pressão e medidores de vazão devido ao custo elevado ou ao não atendimento de todas as necessidades na implantação dos mesmos no sistema de medição.

As características dos processos (instrumentos de medição) que foram adotados como soluções possíveis serão descritos mais detalhadamente a seguir.

A.3. OBJETIVOS

O principal problema enfrentado por donos de frotas de caminhão é fazer uma estimativa do consumo de combustível que seus caminhões estão tendo e também rastrear possíveis desvios no abastecimento do tanque por parte de alguns motoristas.

Utilizando-se de um computador de bordo pode-se ter esta avaliação acoplando-o a um medidor de combustível adequado, que pode trabalhar tanto com a medição do nível da altura de combustível no tanque, como também diretamente com o consumo efetivo do combustível que vai para o motor.

Além das diferenças do tipo de medição a ser feita, há também uma preocupação quanto a algumas características que o medidor deve apresentar, como: boa repetitividade e resolução compatível com o computador de bordo ao qual será acoplado.

Tem-se como objetivo deste estudo uma análise e desenvolvimento de alguns tipos de medidores que se adaptem a esta situação.

Para isso, será seguida uma sequência de etapas para o presente estudo, afim de serem analisadas várias soluções possíveis:

- Descrição dos instrumentos e das técnicas de medição para a atual conjuntura de medição de nível de combustível;
- Estudo dos mecanismos e soluções existentes e em desenvolvimento;
- Execução de testes experimentais;
- Apresentação de resultados de análise de alguns modelos;

A.4. DESCRIÇÕES DE TÉCNICAS PARA MEDIÇÃO DE NÍVEIS DE LÍQUIDOS EM RESERVATÓRIOS

A medição de nível de reservatórios é realizada como objetivo de determinar o volume contido no mesmo.

As medidas de nível de líquido em um reservatório podem ser associadas ao volume do líquido ali contido se a geometria e as dimensões do tanque estiverem conhecidas. A massa correspondente a este volume fica determinada se for conhecida sua densidade.

Existem transdutores que podem também ser usados para detectar a presença ou a ausência de um líquido em uma tubulação ou em um tanque.

As medidas de níveis têm um significado econômico importante: o conhecimento da quantidade de líquido que está em um tanque é necessário em várias aplicações, principalmente automotivas, que é o estudo desse Trabalho de Formatura.

A utilização crescente de sistemas de medição eletrônicos facilitou o desenvolvimento de medidores de nível como objetivo de determinar o volume ou massa do líquido em um reservatório.

Vários métodos com diferentes graus de complexidade são empregados nas medidas de níveis líquidos, cujo foram escolhidos visando aplicações práticas e economicamente viáveis para a implementação no trabalho proposto.

A.4.1. Técnica utilizando flutuadores

O princípio de Arquimedes diz que um corpo inteiro ou parcialmente submerso num líquido está sob ação de uma força igual ao peso do líquido deslocado. Com base nesta teoria, utilizando-se um flutuador, pode-se utilizar sua posição relativa transmitindo-a para uma saída apropriada de um elemento de transdução. Os flutuadores são usados para medição em uma faixa de valores ou medição de nível em valores pré-determinados.

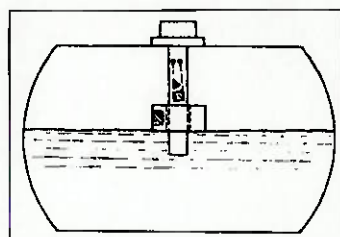


Figura 1a - Flutuadores

A.4.2. Técnica utilizando sensores elétricos

O nível de líquidos também pode ser determinado por condutores elétricos imersos em dois eletrodos no líquido e monitorando-se a mudança na resistência entre eles. Alguns transdutores contêm somente um único eletrodo colocado perto da parede metálica do tanque, que serve como o outro eletrodo.

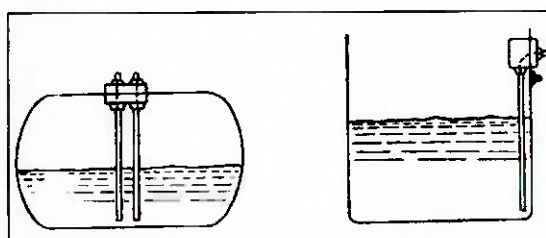


Figura 2a - Sensores elétricos

A.4.3. Técnica utilizando sensores de pressão

A pressão P_s na superfície livre de um líquido é medida freqüentemente no topo da altura de uma coluna líquida e é comparada com a pressão na base P_f ; quando é conhecido o peso específico do líquido, γ e o nível h , vale a relação:

$$h = \frac{P_f - P_s}{\gamma}$$

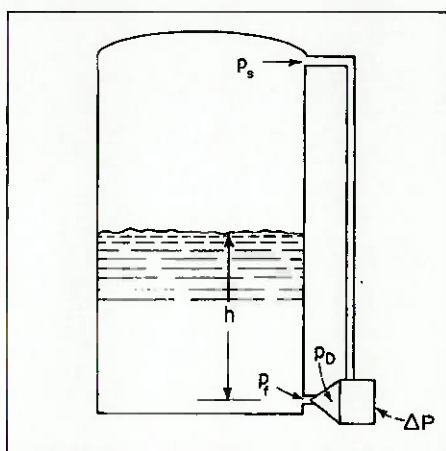


Figura 3a - Sensores de pressão

A diferença de pressão ($P_f - P_s$) é medida habitualmente por um transdutor de pressão diferencial conectado entre a parte superior e o fundo do tanque. Para um líquido de específico conhecido, dado a saída deste transdutor, pode-se ter então uma relação diretamente proporcional ao nível.

A.4.4. Técnica utilizando sensores piezoelétricos

Os transdutores piezoelétricos também são usados para a medida de níveis.

O sensor fornece uma saída somente quando o tanque está cheio e que o líquido começa correr através do respiro de ar. A distância entre o flange de montagem e os dois cristais piezoelétricos determina o nível no tanque que produz uma saída para o transdutor. A unidade de controle, conectada ao sensor por um cabo coaxial duplo equipa geralmente um sinal do comando a uma válvula que controla o fluxo líquido de combustível.

A.4.5. Técnica utilizando sensores ultrassônicos

Para a determinação do volume ou do nível líquido em um tanque cujas características como variações no nível do mesmo, são constantes é bastante útil aplicar-se frequências ultra-sônicas ou de rádio, que são excitadas dentro da cavidade de um elemento de acoplamento colocado no alto do tanque. Quando o nível de líquido se eleva a cavidade diminui e a sua frequência de ressonância muda em na mesma proporção. Quando a frequência de ressonância do tanque vazio é conhecida, temos um fator de escala que pode ser definido, e o nível ou o volume do líquido no tanque podem ser determinados.

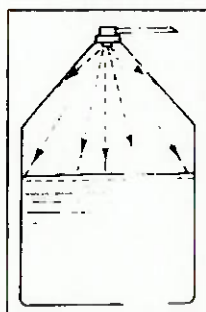


Figura 4a - Sensores ultrassônicos

A.5. CALIBRAÇÃO

Os transdutores magnéticos, piezoelétricos e capacitivos requerem uma atenção especial a respeito da impedância, do comprimento e do aterramento de seus cabos coaxiais. Todos os transdutores devem ser projetados para minimizar a possibilidade de indicações errôneas. Sua constante de tempo é freqüentemente considerada mais longa para a transição de líquido/gás do que para a transição de gás/líquido.

A calibração de transdutores de nível de líquido é comparativamente simples desde que a altura da superfície do líquido esteja a uma dimensão linear medida com uma boa exatidão.

As características da exatidão do instrumento são determinadas pelo processo de calibração, que deve fornecer dados suficientes para esta finalidade. O tempo de resposta é verificado durante testes de qualificação e de amostragem.

A.6. MODELOS ANALISADOS

A.6.1. Mecanismo do tipo bóia

Consiste numa bóia plástica ligada, por meio de uma haste, a um eixo principal com um reostato interno. A variação angular da haste que sustenta a bóia indica, por uma agulha, uma diferença na resistência no reostato correspondente ao nível em que a bóia se localiza.

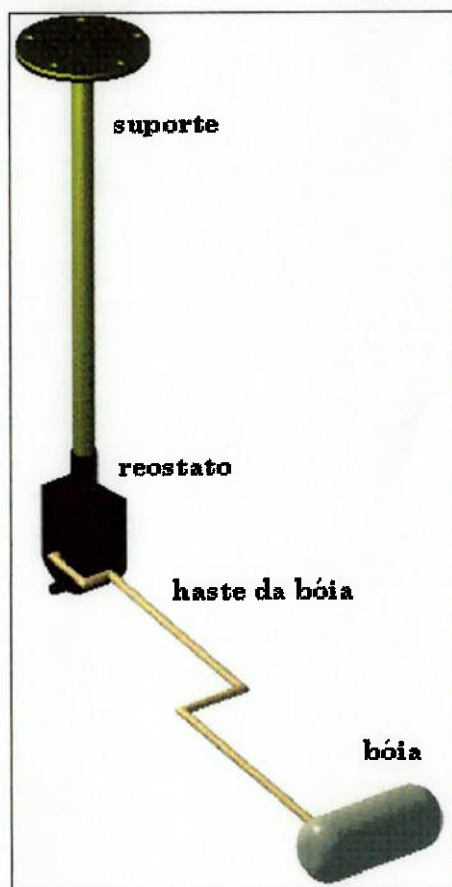


Figura 5a – Mecanismo do tipo bóia

Atualmente o dispositivo de bóia, com algumas variações geométricas e de funcionamento (mas com o mesmo princípio), é o mais aplicado nos veículos automotivos em geral.

Este mecanismo apresenta um princípio de funcionamento mecânico e elétrico muito simples, assim como sua própria instalação. Apesar disso ele apresenta antigos problemas ainda não otimizados.

Quando o tanque está cheio não há medição referente aos primeiros litros de combustível, pois o nível do líquido encobre a bóia, que está bloqueada pela parede do tanque. A medição só começará a ser efetuada até que a bóia esteja flutuando na superfície livre do fluido.

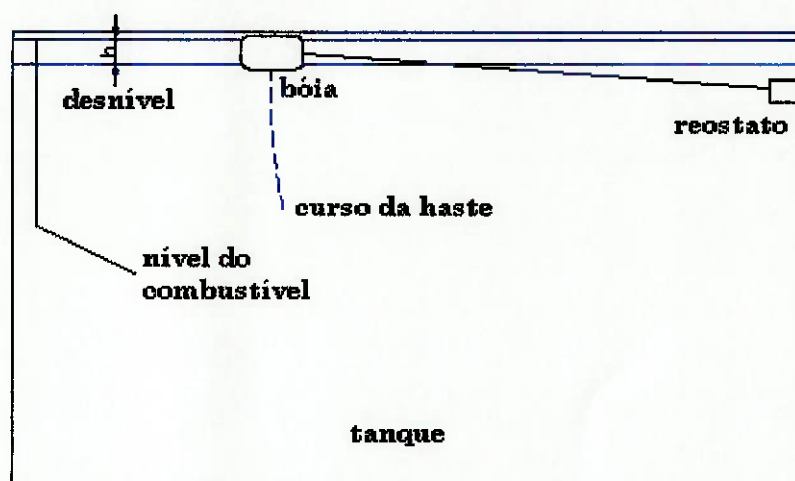


Figura 6a – Bóia em nível máximo de operação

Há um erro na proporção do deslocamento linear do nível do tanque com o deslocamento angular da haste da bóia, como também deve ser considerado o problema da geometria do tanque utilizado. Existe uma tentativa de minimização destes erros através de uma diferenciação na densidade do enrolamento da resistência no reostato.

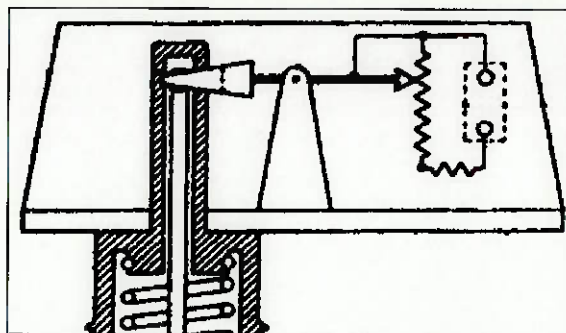


Figura 7a – Detalhe do reostato

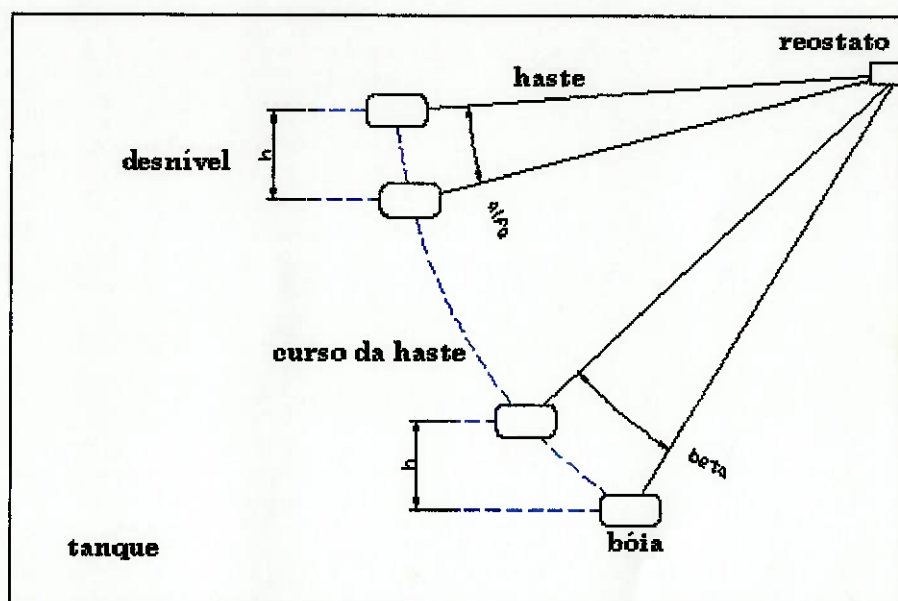


Figura 8a - Desnível angular e linear da bóia

Para uma variação h do nível de combustível com o tanque mais cheio temos uma variação angular α da haste e para o mesmo desnível h , como tanque mais vazio, temos um deslocamento angular β consideravelmente maior do que α . Assim o reostato apresenta uma geometria que a região mais densa do enrolamento dos fios corresponde à variação do nível da bóia com o tanque mais cheio, sendo que esta densidade diminui proporcionalmente com o decréscimo do nível do tanque.

Para tentar manter a bóia no nível desejado quando há inclinações do tanque ou oscilações do fluido combustível e amenizar as diferenças entre o desnível linear da bóia e angular da haste que a prende, há uma solução proposta conforme o desenho a seguir:

Este mecanismo utiliza-se somente do movimento linear (vertical) da haste, transmitindo assim, por meio magnético ou capacitivo, um sinal referente ao nível da posição das bóias. Como há uma haste horizontal deslizando livremente por anéis sobre as duas hastas verticais, no caso de uma inclinação aparece um binário que mantém a haste horizontal na posição anterior (antes do tanque se inclinar).

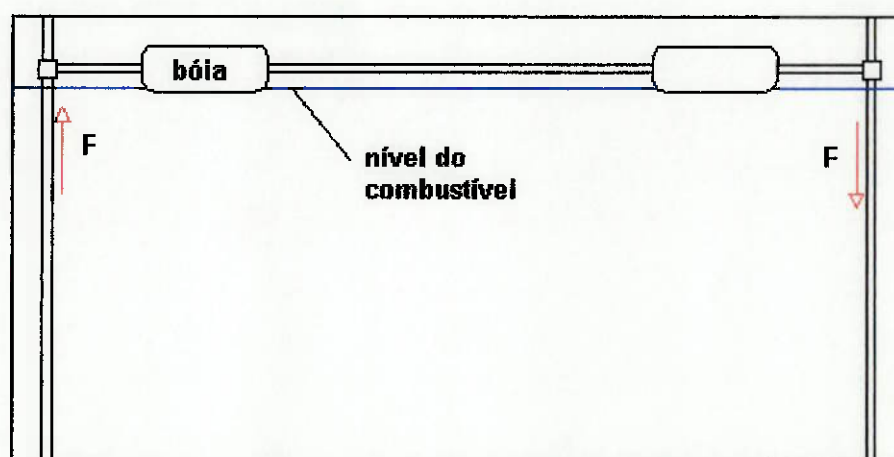


Figura 9a – Mecanismo do tipo dupla-bóia

Mesmo assim, este sistema apresenta os problemas de medição quando o tanque estiver cheio por completo, pois tem as mesmas características do mecanismo do tipo bóia simples.

A.6.2. Aplicação de sensores de pressão

Como foi dito no item A.4.3, é possível medir-se o nível de um tanque sabendo-se a pressão no fundo do mesmo. Esta pressão, transformada para um sinal em volts por um transdutor, pode ser relacionada com a altura de líquido no tanque e, de posse disso, conhecendo-se a geometria do mesmo, determinar o volume do líquido.

O problema seria facilmente resolvido com um transdutor de pressão instalado no fundo do tanque, mas haveria problemas para se furar o tanque e vedá-lo e posteriormente evitar a corrosão no local. Outro aspecto a ser considerado assim como a do transdutor, que deveria ser muito caro se tivesse que resistir aos ataques do diesel ou de qualquer outro tipo de combustível.

Uma alternativa, que barateia muito esta solução está em desenvolvimento pela empresa Blue Tec. O dispositivo se resume numa haste de aço inox moldável que fica mergulhada no tanque e recebe uma pressão que equilibra o nível do mesmo. Esta pressão é fornecida por um pequeno compressor eletromecânico (a mesma usada em aquários domésticos) ligada à haste por um tubo flexível, sendo que este é controlada por um módulo de comando.

Este módulo, que reúne um sensor de pressão diferencial e um microcontrolador eletrônico, manda um sinal para a bobina que promoverá o deslocamento de uma haste imantada que, associada a um diafragma, promoverá a entrada do ar para a haste que está no tanque. Afim de vencer a pressão de coluna de combustível existente, essa pressão de ar é detectada por um sensor de pressão que realimenta a placa controladora.

Havendo alguma variação do nível, a pressão na ponta inferior da haste muda, e desta forma o microcontrolador detecta e tenta mudar a pressão do ar, para que se adapte à nova pressão da coluna de combustível a ser sustentada.

Isto promove uma pressão mínima necessária para produzir pequenas bolhas na saída da haste e somente com uma modularização da frequência, o controlador pode ajustar esse borbulhamento a diferentes variações do nível do tanque. O ideal é que não saíssem bolhas na haste, mas sim que ficasse um bolha estática na ponta, pois aí teríamos certeza de estarmos com a mesma pressão interna do tanque. Mas isso encareceria muito o projeto, pois exigiria um módulo controlador mais desenvolvido, levando-se em conta que é uma condição de alta instabilidade.

Algumas observações quanto ao medidor:

- A haste que recebe a pressão deve ser instalada no centro geométrico do tanque para que a medida do nível seja amenizada nos erros em caso de inclinações do tanque;
- O tanque deve ter um respiro adequado uma vez que estamos inserindo ar no mesmo;
- A perda de carga de pressão nos tubos de ligação e na haste é desconsiderada;
- A placa controladora retorna um sinal analógico que cobre uma faixa de 0,8 V (zero – para o tanque vazio) até 11,5 V (span – para uma coluna de 820 mmca);
- Este sinal pode ser coletado por um computador de bordo que através de uma tabela de calibração (volume x voltagem) pode-se determinar a quantidade de combustível existente no tanque por meio de uma interpolação da mesma.

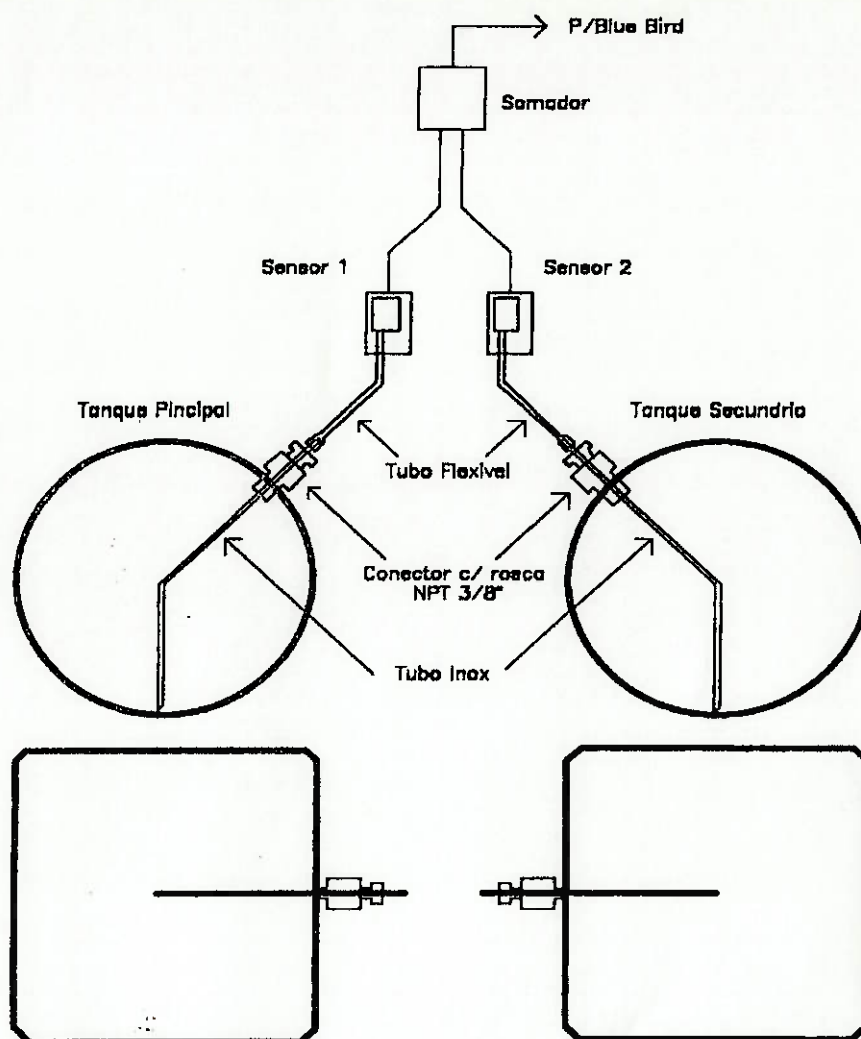


Figura 10a - Figura da instalação do sistema com sensor de pressão

O transdutor de pressão utilizado, fabricado pela Motorola, é do tipo piezoresistivo e é projetado para uma grande faixa de aplicação, mas particularmente para emprego em microcontroladores/microprocessadores com entrada A/D. Esse transdutor fornece um sinal de saída analógico de alta exatidão, segundo o fabricante, proporcional à pressão aplicada. Possui outras características como:

- apresenta um baixo custo (R\$16,00);
- tamanho reduzido;
- erro de no máximo 3% dentro da faixa de 0°C a 85°C;
- pode ser aplicado em medições absolutas e diferenciais;
- tensão de alimentação – 5 V;
- sensibilidade – 450 mV/kPa;
- tempo de resposta – 1 ms;
- peso – 1.5 g.

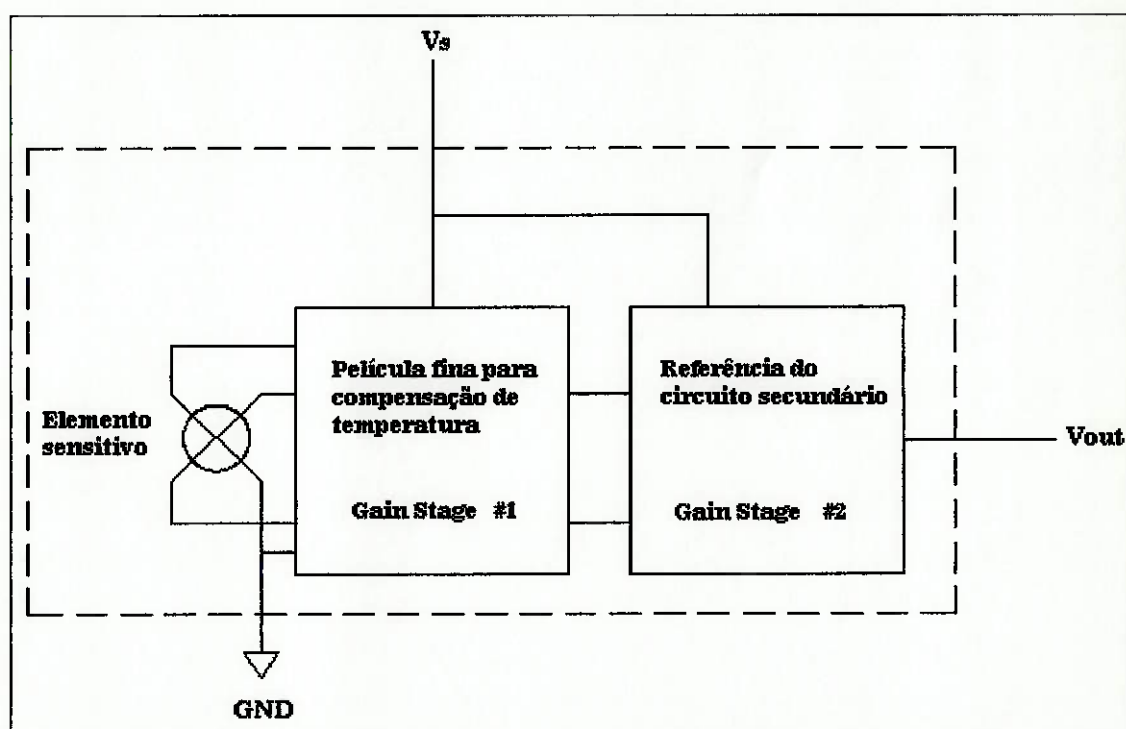


Figura 11a – Esquema de funcionamento do sensor de pressão da Motorola

A.6.3. Medidores de vazão de engrenagens

Outra solução estudada é a de se montar um sistema com dois medidores de vazão instalados, um na saída do tanque para a admissão do motor e o outro no retorno do motor para o tanque.

Paralelamente a esta instalação, deve ser montado um sistema que verifica os volumes dos medidores e faz a subtração para determinar o volume que resta no tanque.

O grande problema de implementação desse sistema é na escolha do medidor de vazão, pois os disponíveis no mercado operam com boa exatidão somente para vazões maiores que 5,0 L/min, o que é muito se pensarmos que o consumo normal do motor de um caminhão é da ordem de 0,5 L/min.

A busca para a solução deste problema está no desenvolvimento de um medidor de vazão que se aplique neste caso. As alternativas se resumem no uso de um medidor feito de um material plástico rígido, que resista à corrosão, com engrenagens ou do tipo lóbulo, ou ainda uma palhetas simples com maior número de dentes.

A ela será adaptado um ímã em uma de suas extremidades e fora do compartimento que as envolve pode-se instalar um sensor magnético que irá receber um sinal a cada volta completa da engrenagem e o enviará a um contador digital. Assim poderemos associar, no microprocessador, o número de voltas com o volume que passou pelas engrenagens.

Vale a pena citar que devemos utilizar um eixo para engrenagens que não saia do compartimento, uma vez que se isso ocorrer, precisaríamos utilizar retentores que promoveriam uma perda de carga grande se levarmos em conta a vazão medida.

A.7. ENSAIOS E TESTES

Foram feitos ensaios com dois dispositivos disponíveis: o que utiliza o sistema de bóia e o sensor desenvolvido pela Blue Tec. Os objetivos dos ensaios foram: comparar as faixas nominais de medição, a resolução, o tempo de resposta e as condições de utilização dos mesmos.

Foram levantadas também tabelas que relacionam o sinal de saída com a altura do nível de combustível no tanque (em mm).

A.7.1. Medidor de nível com avaliação da pressão

Tabela 1a - Sinal de saída do sistema com sensor de pressão

Nível do combustível [mm]	Sinal de resposta [V]
820 (<i>span</i>)	11,8
800	11,6
750	10,9
700	10,2
650	9,6
600	8,9
550	8,2
500	7,5
450	6,8
400	6,2
350	5,5
300	4,8
250	4,1
200	3,4
150	2,8
100	2,1
50	1,4
0 (<i>zero</i>)	0,8

De posse destes dados foi possível plotar os pontos num gráfico e com aplicação do método estatístico de regressão linear, traçar uma reta que melhor aproxima esses pontos.

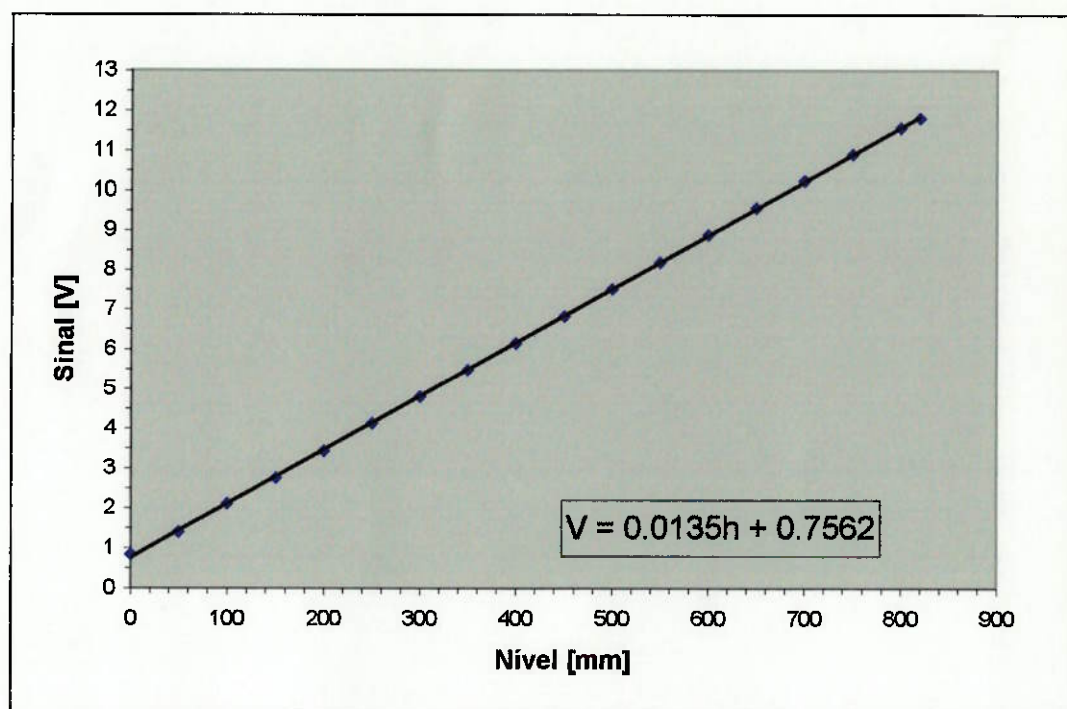


Gráfico 1a - Curva do sistema com sensor de pressão

Esses dados também servem como entrada para o programa CalcTab que gera a tabela calibrada para codificar um computador de bordo que irá receber os sinais analógicos do medidor.

O programa tem como variáveis de entrada o tipo de combustível utilizado; a voltagem de alimentação do sensor; o tipo de geometria do tanque, bem como suas dimensões correspondentes; e os valores do sensor que determinam seu range de operação (**zero** e o **span**).

A saída se resume: no volume do tanque e na tabela de interpolação do computador de bordo. Esta tabela indica a relação entre o sinal em V e o consumo do combustível em L.

Tomando como exemplo um tanque em forma de paralelepípedo com as seguintes dimensões: 500 mm x 500 mm x 1000 mm. Vamos usar a água como fluido de referência; a alimentação será a de uma bateria de caminhão (24 V) e utilizaremos o **zero** e **span** medidos anteriormente.

	Litros	Volts
1	0	0
2	4	.9
3	43	2
4	83	3.1
5	126	4.3
6	165	5.4
7	208	6.6
8	252	7.7
9	252	28.4

Figura 12a - Exemplo do programa CalcTab

Nota-se que o comportamento do sistema é bem linear, sendo que nenhum ponto foge da aproximação feita. Observa-se que é no ponto 8 da tabela do programa acima que está praticamente indicado o sinal em volts do tanque cheio (250 L), que corresponde ao nível de 500 mm do mesmo. Aplicando-se a equação de interpolação do sensor, temos:

$$V = 0.0135h + 0.7562 = 0.0135 * 500 + 0.7562 \approx 7.5 \text{ volts}$$

Que é praticamente o valor calculado pelo programa, sendo que se for feita uma interpolação entre os pontos 7 e 8, chega-se, para um volume de 250 L, a um sinal de 7,6 V.

A.7.2. Medidor de nível do tipo bóia

No caso da bóia foram especificadas oito posições para sua fixação e, com o auxílio da montagem abaixo, foi feita a medida da resistência que o reostato indicava em cada posição.

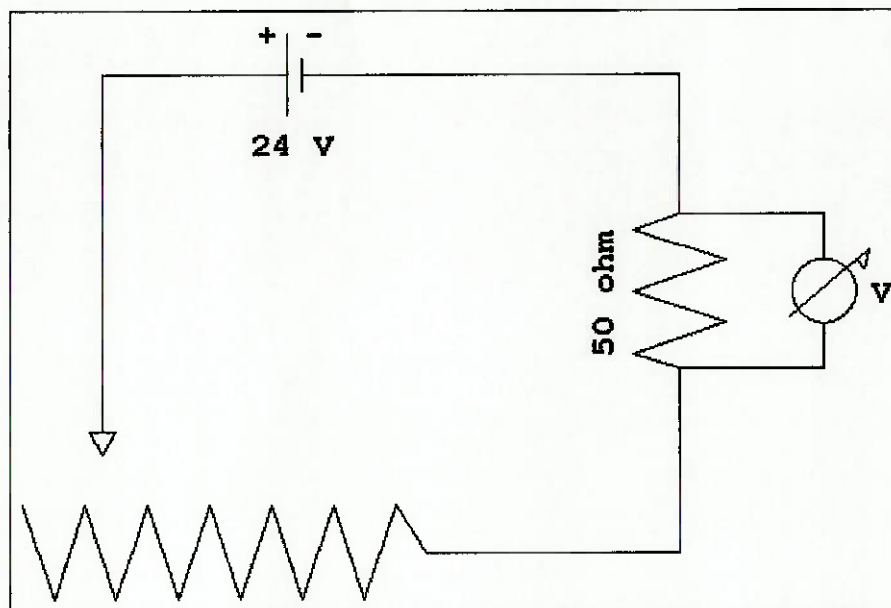


Figura 13a - Esquema da variação de resistência no reostato da bóia

Tabela 2a - Sinal de saída do reostato da bóia

Posição no marcador	Sinal do reostato [Ω]
1	2,0
2	8,8
3	15,9
4	22,8
5	31,1
6	43,0
7	55,1
8	71,3

Para a bóia foi feito o gráfico abaixo com uma interpolação polinomial de grau dois, devido ao fato de não apresentar linearidade nos pontos.

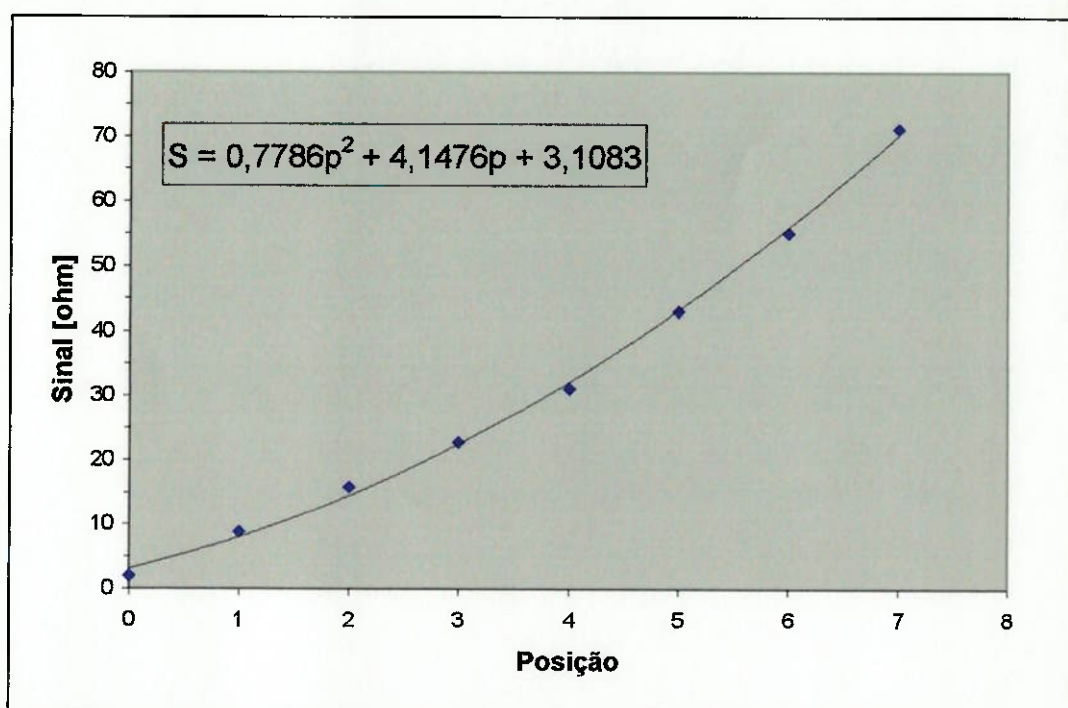


Gráfico 2a - Curva do sensor do tipo bóia

A.8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta primeira etapa do trabalho, ou seja, o Estudo de Medição de Combustível, procurou-se entender e analisar as soluções para os mecanismos existentes e propostos.

Pode-se verificar que instrumentos, tais como a bóia, possuem vantagens em relação aos outros (exemplo – baixo custo) e devido a uma certa relação custo benefício, ainda sobrevive no mercado. Mas mesmo assim, apresenta problemas já citados, e tendo em vista isso confrontamos essa solução tradicional com uma em desenvolvimento (o sistema de Blue Tec que utiliza sensor de pressão) e também com novas propostas.

Devido a impossibilidade de maiores ensaios e estudos, ainda não pode ser tomada uma decisão definitiva pela qual irá se apoiar o desenvolvimento do projeto básico.

A decisão ainda está em aberto, visto que nem todas as variáveis básicas, limitações e critérios ainda não foram estudados por completo.

Assim, através de uma discussão e avaliação, serão escolhidas duas soluções que serão abordadas diferentemente, sendo uma para cada componente do grupo do Trabalho de Formatura. Poderá também ser adotada uma única solução, cujas componentes serão trabalhadas em paralelo pelos mesmos integrantes.

PARTE B

DESENVOLVIMENTO, FABRICAÇÃO E TESTES DE UM MEDIDOR DE VAZÃO DE ENGRENAGENS COMPONENTES MECÂNICOS

B.1. ESTUDO DE VIABILIDADE: CONCLUSÃO

No Anteprojeto, ou Projeto Básico, procura-se estabelecer uma concepção geral do produto a ser desenvolvido, no caso uma técnica ou instrumento para a medição do consumo de combustível. Isto servirá de base para um futuro projeto executivo ou de fabricação em escala de produção (etapas finais da espiral de projetos).

B.1.1 Solução da melhor alternativa

Nesta etapa, parte-se para a avaliação das alternativas estudadas na fase anterior que acabaram se tornando mais promissoras. Esta escolha é efetuada confrontando as várias propostas entre si, buscando destacar os pontos fortes e fracos das mesmas.

Deve-se procurar estabelecer os critérios de projetos, ou atributos, de forma tanto mais quantitativa quanto possível. Esta não é uma etapa fácil de ser concluída devido a essa necessidade de quantificar grandezas abstratas.

Aliado a isso há o grau de incerteza ainda presente nos estudos desenvolvidos em cada uma das alternativas propostas visto que não foi possível maiores ensaios e testes necessários para um melhor julgamento.

Apesar deste contexto, foi possível criar e analisar a Matriz de Decisão. Esta matriz tem por entradas os atributos nas linhas e as várias alternativas nas colunas. Atribuindo-se pesos a cada atributo tem-se a importância relativa entre os mesmos e, atribuindo-se notas de 0 a 10 para cada alternativa tem-se a avaliação relativa para um dado atributo.

Os medidores de consumo de combustível analisados são: Medidor de altura de dupla bóia; Medidor de altura ultrassônico; Medidor de altura de pressão; Medidor de vazão de engrenagens.

Assim pode-se explicitar e quantificar os critérios do projeto. A seguir apresenta-se a Matriz criada para a análise:

Tabela 1b - Matriz de decisão

ATRIBUTO	Peso	Medidor de altura de dupla bóia		Medidor de altura ultrassônico		Medidor de altura de pressão		Medidor de vazão de engrenagens	
		Nota	N X P	Nota	N X P	Nota	N X P	Nota	N X P
Simplicidade	0,05	8	0,40	6	0,30	5	0,25	7	0,35
Manutenibilidade	0,05	9	0,45	6	0,30	6	0,30	7	0,35
Durabilidade	0,10	6	0,60	7	0,70	7	0,70	8	0,80
Repetitividade	0,20	5	1,00	8	1,60	8	1,60	9	1,80
Segurança	0,10	9	0,90	7	0,70	8	0,80	9	0,90
Custo	0,20	10	2,00	5	1,00	7	1,40	6	1,20
Resolução	0,10	4	0,40	7	0,70	8	0,80	8	0,80
Exatidão	0,10	5	0,50	7	0,70	7	0,70	7	0,70
Confiabilidade	0,10	5	0,50	8	0,80	8	0,80	8	0,80
TOTAL	1,00	6,75		6,80		7,35		7,70	

B1.2. Análise e resultado a partir da matriz de decisão: medidor de vazão de engrenagens

Procurou-se abordar, na elaboração da matriz, itens de análise comuns ao estudo de melhor alternativa (*Simplicidade, Manutenção, Durabilidade, Segurança, Custo*) adicionados a itens relevantes aos medidores de nível e vazão de combustível (*Exatidão, Repetitividade, Resolução, Confiabilidade*).

Ponderando estes itens e avaliando todos os casos, foi obtido como melhor alternativa o medidor de vazão de engrenagens ovais. Pela análise superficial admite-se que o item *Custo* é um ponto fraco desta alternativa. Desta forma, com a escolha desta alternativa como solução do Estudo de Viabilidade, pretende-se desenvolver o Projeto Básico com um foco de melhoria de seu custo estudando materiais alternativos e, conseqüentemente, podendo aprimorar seu desempenho.

Outro fator importante nesta decisão está no fato de se medir o consumo de combustível através da vazão, ao invés de medir o nível do tanque de combustível do automóvel já que este, estando em movimento, não contribui na obtenção de uma referência estática.

O medidor de vazão apresenta também, além do fator *Custo*, apresentado na Matriz de Decisão, alguns fatores que influenciam seu

desempenho, que basicamente são:

B.1.2.1. Fluxo pulsante

É importante reconhecer que o escoamento é um processo dinâmico e que a dinâmica de um fluido pulsante, intensidade da turbulência e dispositivos do próprio projeto estão relacionados na medição do fluxo. Em um medidor de vazão por engrenagens ideal, variações na taxa de vazão, pressão e massa específica são instantaneamente sentidas não ocorrendo erros devido a estes fatores. Mas em medidores reais, a inércia, o amortecimento, variações na força, que provoca o binário que movimenta as engrenagens, devido a pressão do fluido, bem como alterações de perfis da engrenagens e frequências de ressonância de tubos afetam o medidor em si. A característica de resposta de cada um afeta a resolução da medição como um todo.

B.1.2.2. Bolhas de ar

Há formação de bolhas de ar em uma das linhas de retorno do motor devido ao fato do combustível ter passado pela bomba injetora sob condições de temperaturas próximas a 90°C. O vapor e o ar dentro do líquido pode resultar em grandes erros de medição mesmo que haja pequenas quantidades destas bolhas.

B.1.2.3. Retorno após a bomba injetora

Grande parte do combustível retorna da bomba injetora para o tanque e isso deve ser contabilizado, ou seja, o erro será muito maior devido ao fato da quantidade de combustível, consumida pelo motor, ser muito pequena.

B.1.2.4. Perda de carga

Como o medidor trabalha com vazão, este vai apresentar resistência ao fluido, impondo perdas de características principalmente singulares. Mas a relevância deste item não será muito decisiva uma vez que a sua jusante encontra-se a bomba de combustível que fornece carga suficiente para vencer as perdas e também promover o retorno deste líquido ao tanque.

B.2. PROJETO BÁSICO

B.2.1. Princípio de funcionamento do medidor de engrenagens

Nos processos industriais ou até mesmo cotidianos, um controle volumétrico exato ou repetitivo dos líquidos envolvidos se constitui numa necessidade primordial tendo em vista que o custo dos mesmos normalmente é elevado.

Os fabricantes de medidores de engrenagens ovais indicam que estes instrumentos pertencem à classe de medidores volumétricos, e tais medidores têm boa exatidão e razoável confiabilidade, visto que eles efetuam a medição de volume de líquidos de uma forma direta ou em outras palavras não efetuam esta medição em função de nenhuma outra variável tais como velocidade, condutividade ou turbulência.

A engenharia na fabricação deste tipo de aparelho reside na sua simplicidade de concepção. O seu processo de medição contém uma câmara com duas engrenagens ovais acopladas entre si, e girando em sentido contrário. Estas engrenagens rotacionam muito próximas à parede de medição isolando volumes de líquido. Para uma melhor visualização a figura abaixo mostra a seqüência de funcionamento do medidor de engrenagens.

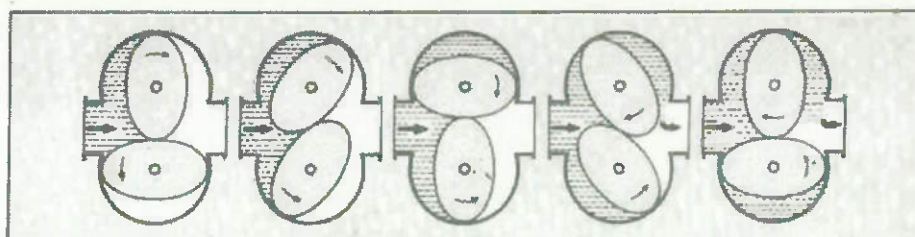


Figura 1b - Princípio do movimento das engrenagens na presença do fluido

O diferencial de pressão a que o medidor está submetido gera um momento angular na engrenagem inferior, enquanto na engrenagem superior os momentos angulares se anulam.

A cada giro completo das engrenagens ovais, quatro volumes são transportados da entrada para a saída do medidor, estabelecendo uma proporcionalidade entre a rotação e o volume transportado.

Os eixos sobre os quais giram as engrenagens ovaladas, são prensados na base da câmara de medição e o seus mancais são de grafite ou de bronze, sendo esta seleção definida de acordo com os materiais básicos de fabricação ou, alternativamente, dependendo da aplicação, podem ser usados rolamentos.

O dispositivo sensor é hermeticamente separado da câmara de engrenagens por meio de ímãs permanentes que fornecem um campo magnético que será sentido pelo sensor indicando assim as rotações das engrenagens ovaladas. Este acoplamento magnético é realizado de forma paralela aos eixos das engrenagens ovaladas, tornando impossível qualquer tipo de vazamento através do orifício onde estaria instalado o sensor.

A rotação que é transmitida pelo acoplamento magnético permite a instalação de indicadores locais de volume, transmissão a distância de sinais eletrônicos de pulso, ou ainda transmissão de corrente proporcional à vazão instantânea.

Para o caso da transmissão do sinal eletrônico, dependendo do tipo de sensor a ser utilizado, deve-se alimentá-lo com uma fonte de tensão constante e montar um circuito básico para ligá-lo a um sistema de medição, como por exemplo num computador de bordo. Abaixo está uma montagem simples que exemplifica isto:

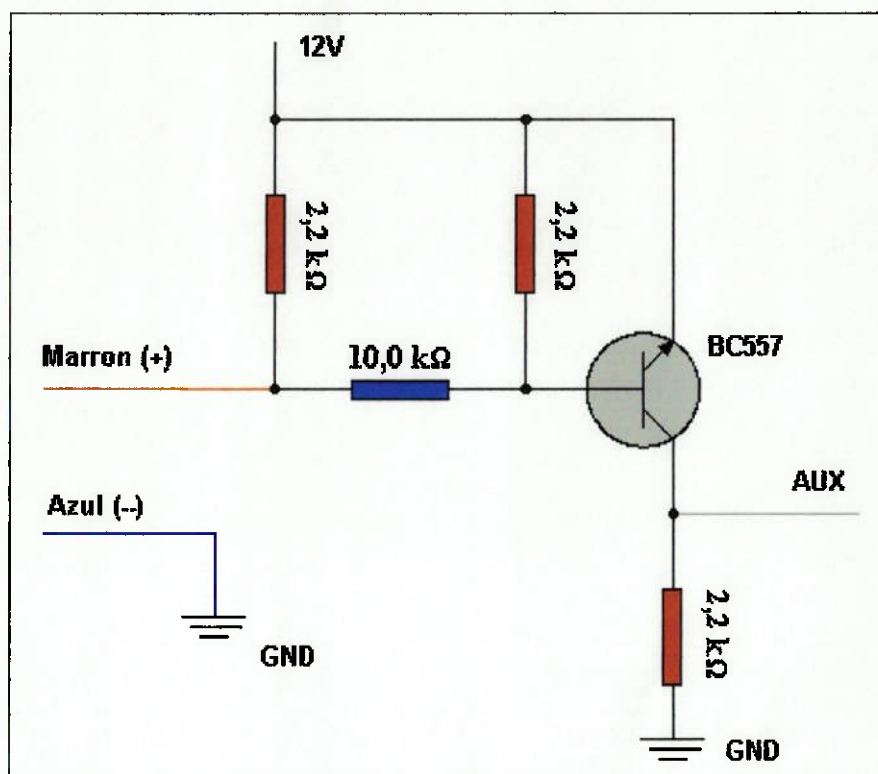


Figura 2b - Circuito eletrônico de polarização do sensor Namur

B.2.2. Dimensionamento

B.2.2.1. Configuração da geometria e componentes do medidor

Possuindo o mesmo princípio de funcionamento que o medidor Econovias da Metroval, o protótipo foi projetado a partir da análise daquele produto.

Como ponto de partida estabeleceu-se que a entrada do escoamento seria perpendicular ao eixo de rotação das engrenagens, portanto foi adotada a forma da câmara em forma de H, afim de prover o espaço para encaixe do espigão de entrada e saída do escoamento do medidor.

Esta idéia evoluiu a partir de configurações adotadas pela empresa alemã Bopp & Reuther, fabricante de medidores de vazão, onde foram encontradas no seu site na Internet (<http://www.burhm.de/english/ovrz13.htm>).

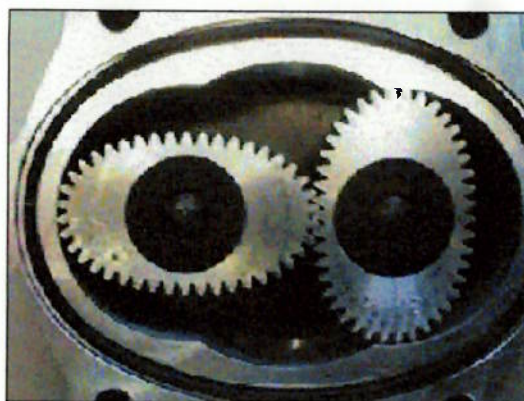


Figura 3b - Medidor de engrenagens ovais (Bopp Reuther)

A câmara apresenta extensões na sua parte lateral que possibilitem a formação dos vórtices que fazem parte do princípio de movimentação das engrenagens.

O medidor apresenta os seguintes componentes:

- 2 engrenagens ovais;
- 2 buchas de grafite;
- 2 eixos de aço inox;
- 1 câmara bipartida;
- 2 tampas;
- 1 ímã no formato cilíndrico;
- 1 sensor eletromagnético;
- 2 anéis de vedação.

Na etapa de concepção do projeto, o ponto crítico encontrado foi o da fabricação das engrenagens.

As engrenagens eram os únicos elementos que definiriam as dimensões dos demais componentes do medidor, principalmente da câmara, pois sua montagem exigia uma certa tolerância dimensional (cerca de dois centésimos de milímetros).

Analizados vários processos de fabricação para este tipo de engrenagem chegou-se a conclusão que o mais ideal seria o uso de uma resina epóxi como material, e de um processo de fabricação artesanal (detalhado no item 3.1), pois a idéia de se fabricar as engrenagens com o mesmo material da câmara e tampas do medidor, usando um processo de usinagem, foi considerada inviável para a fabricação do protótipo apenas.

B.2.2.2. Definição das medidas e adaptações para o desenho de fabricação

Antes de se definir o projeto foram fabricadas engrenagens de resina que tiveram suas dimensões medidas para que se pudesse conceber os desenhos de fabricação da câmara e das tampas.

Após tomadas as decisões sobre a geometria para o medidor de vazão, foram adotadas as dimensões a serem utilizadas na câmara. Os desenhos de fabricação e de conjunto foram feitos em AutoCAD R14 e estão no ANEXO II deste trabalho.

Com as engrenagens já fabricadas foi possível analisar o ajuste que estas teriam na câmara e adotar um par que pudesse ter um bom desempenho no funcionamento do medidor; assim como determinar a posição dos eixos das engrenagens para se obter uma boa centragem na montagem final e evitar problemas com o engrenamento.

As dimensões das tampas foram baseadas nas medidas da câmara. A tampa superior teve uma modificação posterior devido à problemas encontrados no comportamento do medidor (descritos no item 3.6).

B.2.3. Seleção de materiais

Este foi um aspecto fundamental para o resultado final do projeto com influência sobre dois fatores: custo e processo de fabricação.

A seguir estão descritos os materiais adotados na análise desta parte do projeto.

B.2.3.1. Technyl

A princípio pensou-se em adotar o Nylon 66 (Technyl) para todo o conjunto (câmara e engrenagens). Mas devido à dificuldade encontrada na fabricação das engrenagens, foi decidido fabricar a câmara com o Nylon e as engrenagens com um resina de moldagem.

O Nylon 66 é o nome usual de poliamida formada pelos monômeros hexametileno-diamina e ácido adípico.

É uma resina dura e translúcida temperável que, mediante resfriamento lento apresenta elevada cristalinidade, servindo para a produção de engrenagens, mancais e peças obtidas por injeção. Apresenta elevada temperatura de amolecimento, boa resistência ao impacto e alta resistência à abrasão, à ação de óleos e hidrocarbonetos, porém são amolecidos por alcoóis, glicóis e água.

As características principais do material são (Fonte: DUPONT):

- grau de cristalinidade: alto
- ponto de fusão: 264 °C
- taxa de absorção de água: 1,3%
- alongamento: 15-60%
- resistência à tração: 52,40 MPa
- resistência ao impacto: 14,48 kN/m²
- resistência UV: boa
- dureza: R100

Segundo referências bibliográficas de materiais consultadas (indicado como [10] no item Bibliografia deste trabalho) foram obtidas informações de que este material não era o apropriado para se usar em instrumentos que necessitassem exatidão na usinagem e utilização em ambiente úmido, pois absorve água variando assim as suas dimensões.

B.2.3.2. Poliacetal

Foi adotado então outro material polimérico, o Poliacetal, cujas características estão descritas abaixo:

Acetais são polímeros de formaldeído que contém repetidas unidades oximetileno ($-O-CH_2-$), caracterizado pela ligação acetal ($-O-CH_2-O-$) na sua cadeia. Chamados corretamente de polioximetileno, eles são comumente conhecidos como acetais. Este polímeros, que são termoplásticos altamente cristalinos, caracterizados por um ponto de fusão bem definido, estão comercialmente disponíveis como homopolímeros ou copolímeros.

O homopolímero apresenta alta cristalinização, com boa resistência, dureza, e resistência de impacto. Seu ponto de fusão é $175^{\circ}C$ ($350^{\circ}F$).

A alta cristalinidade também dá boa resistência química, com pouco ou nenhum efeito visível no material depois de exposição direta a hidrocarbonetos comuns, aldeídos, álcool e outros combustíveis em geral. O homopolímero também é resistente a soluções aquosas dentro de pH de 4 a 10 à baixas e moderadas temperaturas.

Ambos, copolímero e homopolímero são recomendados para uso contínuo em ar e água à temperaturas de até $80^{\circ}C$ ($180^{\circ}F$).

Eles têm boa lubricidade de superfície e um baixo coeficiente de fricção contra metais, cerâmica, outros plásticos, e entre eles próprios. Também apresentam boa resistência à fadiga.

A natureza previsível das propriedades do acetal e a boa resistência aos solventes fazem destes plásticos os candidatos ideais para substituir materiais como metais, madeira, cerâmica e outros polímeros.

Os acetais são fáceis de se processar e trabalhar pois assumem bem o contorno da superfície do molde e permitem alto lustro e pigmentação em qualquer cor opaca.

Nos mercados atuais, aplicações industriais destes materiais se utilizam da vantagem do baixo coeficiente de fricção, resistência à solvente e resistência à opacidade.

Aplicações automobilísticas usam a força, dureza, resistência a solvente, resistência à fadiga, boa capacidade de pigmentação e excelente acabamento dos acetais. São bastante usados em sistemas de combustível: sensores de nível, bóias, bombas e reservatórios.

Durante a moldagem devido ao processo de fabricação do acetal, a incapacidade de alcançar boa cristalinidade pode conduzir a problemas de desempenho, como fragilidade e atrito excessivo. A cristalinidade é alcançada permitindo-se aos materiais se cristalizarem durante a injeção no molde usando para isso uma superfície de molde quente, cerca de 82°C (180°F ou mais alto). Uma superfície de molde mais fresca é tolerável em partes espessas de seções de parede (1,6 mm), mas geralmente não é recomendado.

As características principais do material são (Fonte: Hoechst):

- grau de cristalinidade: alto
- ponto de fusão: 365°C
- taxa de absorção de água: 0,14%
- alongamento: 20-40%
- resistência à tração: 110,00 MPa
- resistência ao impacto: 310,26 kN/m²
- resistência UV: boa
- dureza: R120

B.2.3.3. Acrílico

Somente para a tampa da câmara do medidor foi decidido fazê-la de acrílico para acompanhar o desempenho do medidor durante os testes.

Os plásticos acrílicos incluem uma larga faixa de polímeros e copolímeros nos quais os principais componentes monoméricos pertencem a duas famílias de ésters-acrilatos e metacrilatos. Estes são usados isoladamente ou combinados.

As outras partes do medidor, como a câmara e a tampa inferior não foram feitas de acrílico pois este material apresenta um problema de corrosão na presença de álcool, que é um produto presente em combustíveis de veículos automotivos, fluido em contato com todos os componentes do medidor, excetuando-se o sensor eletromagnético.

B.2.3.4. Imã

Para o imã da engrenagem foi primeiramente adquirido da empresa Cermag um imã de ferrite (R\$0,80), que na etapa de testes apresentava um campo magnético muito fraco e não era percebido pelo sensor eletromagnético. Posteriormente foi adquirido da mesma empresa usado um imã especial de terras raras com um custo maior (R\$4,00) mas com um forte campo magnético para fácil percepção por parte do sensor.

B.3. PROCESSO DE FABRICAÇÃO

B.3.1. Fabricação das engrenagens

Aqui encontrou-se um grande obstáculo na confecção destes elementos, onde foram visitadas diversas ferramentarias e pessoas especializadas no ramo que observavam uma dificuldade em se usinar as engrenagens, devido ao fato de serem ovais e seus dentes convergirem para três centros diferentes, ou seja, não tinham um módulo único.

Uma das soluções encontradas foi pelo processo de eletroerosão a fio que possibilitaria a confecção de um molde para a fabricação das engrenagens por injeção ou extrusão, mas este processo de fabricação do molde era financeiramente inviável (em torno de R\$4000,00).

Outra solução seria a utilização de uma máquina fresadora CNC de 5 eixos para a fabricação da engrenagem, mas o custo da utilização desta máquina também é alto.

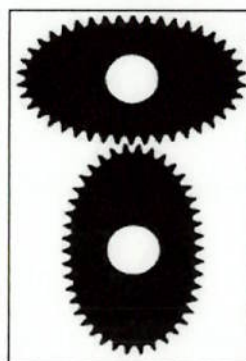


Figura 5b – Detalhe do par de engrenagens

Por este motivos foi adotada a idéia mais econômica e simples de se fabricar estas engrenagens para o protótipo. A solução consistiu em se fazer um contra molde usando a engrenagem de alumínio disponível e depois modelar a engrenagem com resina epóxi. Este foi o principal motivo que levou ao abandono da idéia de se fabricar as engrenagens com o mesmo material da

câmara, que seria o Poliacetal.

B.3.1.1. Buchas da engrenagem

Como pode-se notar nas figura 3b e 5b, as engrenagens não devem entrar em contato direto com o eixo de aço inox (diâmetro de 3,00 mm), afim de se evitar o desgaste de sua parede interna. Foram então feitas buchas, com diâmetro externo de 10,30 mm, utilizando-se grafite.

Essas buchas foram feitas recortando-se parte de uma peça bruta de grafite e usinando-a no torno até atingir a configuração cilíndrica com o diâmetro desejado. Depois eram feitos sulcos nas suas laterais para que o material da engrenagem (resina epóxi) aderisse à parede externa da bucha.

B.3.1.2. Eixos de centralização

Os eixos das engrenagens foram feitos de aço inox no intuito de se evitar a corrosão no contato desta peça com o fluido combustível.

A fabricação deste componente foi relativamente simples, visto que foram feitas apenas etapas de serragem do material no comprimento desejado e usinagem do mesmo até o diâmetro pretendido.

B.3.1.3. Contra molde

Foi montada uma pequena forma com uma base de acrílico e corpo cilíndrico (tubo de PVC). Nesta base foi feito um furo onde se apoiava um eixo para a centralização da bucha, já colocada. Centralizava-se a engrenagem de alumínio besuntada de vaselina líquida (assim como na forma) e despejava-se a borracha líquida para fazer o contra molde (95% borracha líquida + 5% catalisador). Para a borracha secar levava-se cerca de 2,5 h.

O pedaço de tubo que fazia parte da forma possuía uma altura um pouco superior a duas vezes a altura de uma engrenagem. Isto foi feito para se obter duas engrenagens que iriam compor um mesmo par, já que seus dentes foram feitos nas mesmas condições, o que talvez não pudesse ter sido atingido se as engrenagens fossem feitas separadamente.

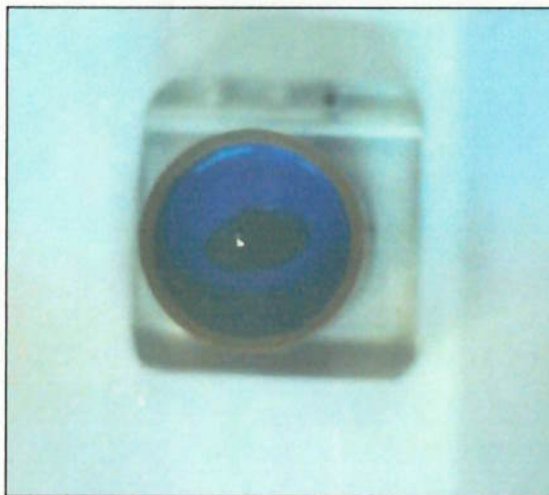


Figura 6b - Forma para fabricação das engrenagens

B.3.1.4. Molde

O molde era feito usando-se uma resina epóxi (87% de resina e 11% de catalisador). A resina levava 11,5 h para total secamento.

Após isto, a engrenagem era desenformada, serrada ao meio (para obter o par girante) e tinha suas faces corrigidas com operações de usinagem no torno.

B.3.2. Câmara e tampas

Esta parte do medidor foi fabricada com operações de usinagem utilizando-se tornos e fresas. Estes componentes apresentavam maiores detalhes de fabricação, como:

- centralização dos eixos das engrenagens;
- sulcos para os anéis de vedação;
- bom acabamento superficial.

Foi contratado, por R\$100,00, o serviço de uma indústria que trabalha no ramo de usinagem para a fabricação destas peças.

B.3.3. Montagem e testes

Fabricado o medidor este foi cuidadosamente analisado para detecção de todo e qualquer tipo de defeito que pudesse comprometer seu desempenho.

Os pares de engrenagens foram testados em diversas posições afim de se obter o melhor engrenamento.

A câmara recebeu um tratamento manual com lixa fina (granulação 400) para se obter o ajuste necessário entre as engrenagens e a parede da câmara.

Segue abaixo a foto do Protótipo já finalizado para a etapa de testes.

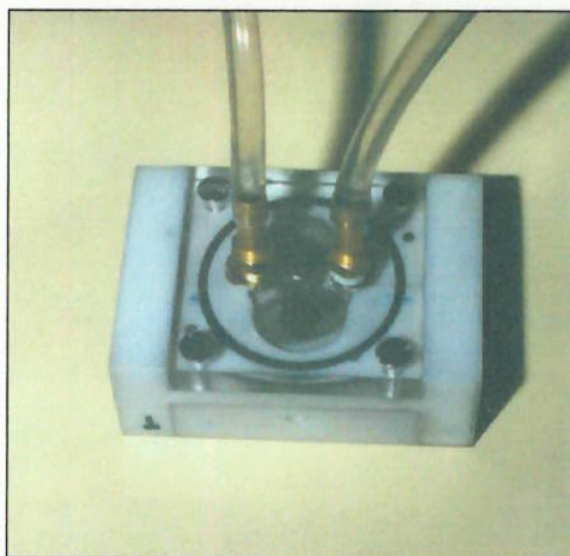


Figura 7b – Protótipo montado

B.3.4. Resultados

Depois de montado, o protótipo foi testado com água onde enfrentou-se também o problema de vazamento que a princípio parecia ser devido à falta de vedação do anel de borracha. Os anéis foram substituídos por outros mais largos dando-se um maior aperto na tampa, mas foi visto que o problema foi na usinagem, que deixou pequenas frestas na peça.

Além disso enfrentou-se um problema muito grande com o atrito. As peças usinadas não tiveram o acabamento superficial adequado e isso comprometeu o desempenho das engrenagens.

B.3.5. Modificações

Percebeu-se que o atrito era entre a bucha da engrenagem contra base da câmara, devido ao pequeno “esfarelamento” do grafite, aliado às microsoldas formadas da combinação da resina da engrenagem e do poliacetal

(superfícies levemente polidas). Isto resultava numa dificuldade de rotação das engrenagens.

Foi então sugerido, para tentar minimizar estas perdas com o atrito, que se ajustasse uma fina lâmina de alumínio entre a bucha e a base da câmara. Esta lâmina foi feita com um vazador, na forma de uma arruela, utilizando-se papel alumínio doméstico de espessura 0,015 mm.

Verificou-se que as engrenagens, além de se movimentarem com dificuldade, devido ao atrito, giravam ao contrário. Em vista disso foi decidido voltar à idéia inicial que era posicionar os espigões (de entrada e saída) na parte de cima da tampa de acrílico.

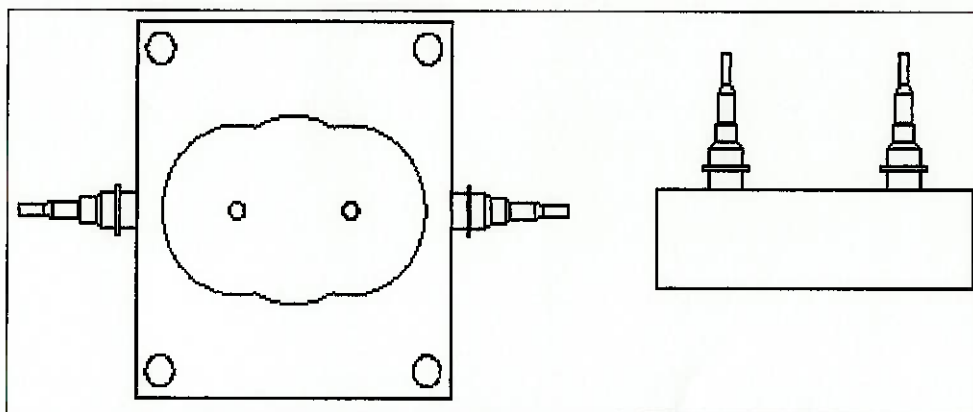


Figura 8b - Posicionamento dos espigões

Para acabar com o problema do vazamento foram vedados, com resina, a entrada e a saída lateral (que apresentavam as frestas devido aos problemas de usinagem) já que foi feita a entrada e saída na tampa superior como mostra a figura acima.

O resultado obtido com isso foi satisfatório e impulsionou o início dos ensaios com o protótipo.

B.4. PRINCÍPIO DE MONITORAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

O princípio de sensoriamento magnético proposto é representado pelos sensores tipo Hall, que, como o próprio nome diz, é baseado no princípio Hall. O efeito Hall, descoberto por E. H. Hall em 1879, consiste na geração de uma diferença de potencial elétrico entre os lados de um condutor ou semicondutor através da passagem de uma corrente enquanto há um campo magnético perpendicular a esta corrente.

A figura abaixo mostra, para um semicondutor, a variação da voltagem Hall, que depende do tipo do condutor.

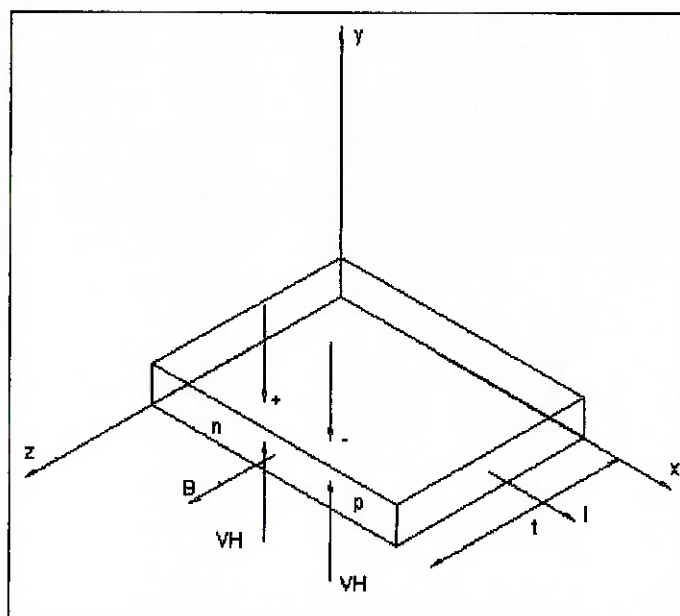


Figura 9b - Efeito Hall

Uma força de Lorentz age nesses condutores ($F = q.v \times B$). Isso leva à uma acumulação de carga na superfície que resulta numa ddp que equilibra a força que é exercida pelo campo magnético.

A voltagem Hall (V_H) gerada depende da espessura t do material, da corrente primária I , do campo magnético B aplicado e das propriedades elétricas do material (densidade de carga e condutividade).

Comparando com outros sensores de campo magnético, o sensor Hall tem a vantagem de produzir uma voltagem de saída que é independente da

taxa da variação do campo magnético detectado. Para sensores indutivos, ao contrário, quando a velocidade da variação do fluxo magnético é pequena, a saída é muito pequena. Comparado com sensores baseados em um par ótico emissor-detector, os sensores de efeito Hall têm as vantagens de não perceberem quaisquer condições ambientais (poeira, umidade e vibração) e possuir características constantes ao longo do tempo. Isso é muito importante para essa aplicação, uma vez que os veículos estão sujeitos a todo esse tipo de variação.

A figura abaixo mostra os tipos de métodos de montagem dos sensores aos diferentes tipos de aplicação:

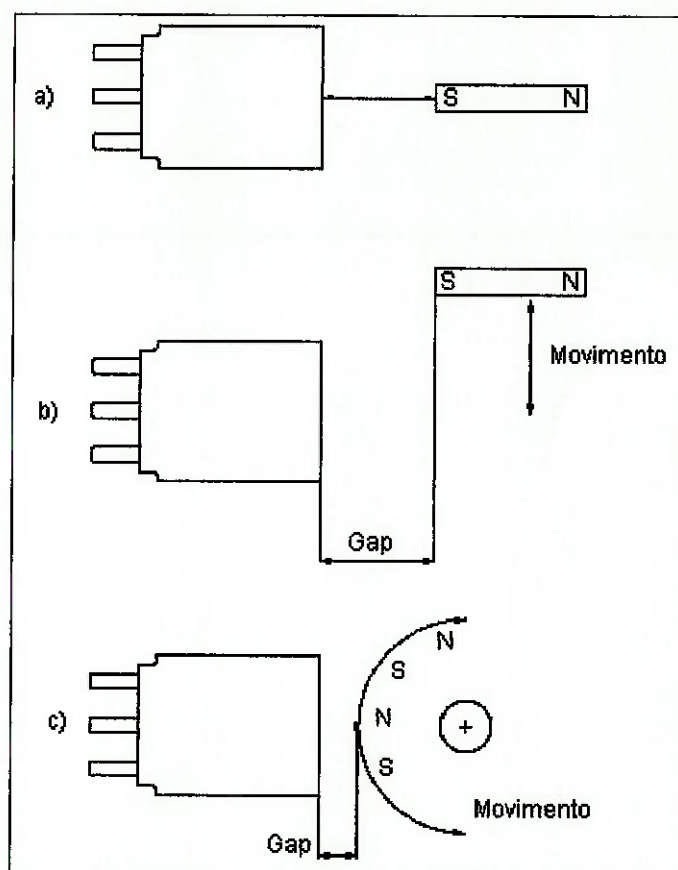


Figura 10b – Montagens usuais para o Sensor Hall

No caso (a) o movimento resulta na variação da distância entre o ímã permanente e o detetor. Se o elemento Hall interrompe o circuito, como uma chave, então tem-se um proximetro.

No caso (b), pode ser usado como proximetro ou contador (utilizado neste projeto).

No caso (c) é utilizado como uma chave comutadora para medir a velocidade de rotação

Obviamente, utiliza-se este sensor como contador, ou seja, através de um transistor que satura ou não conforme a presença do campo magnético. O modelo a seguir representa o funcionamento deste sensor:

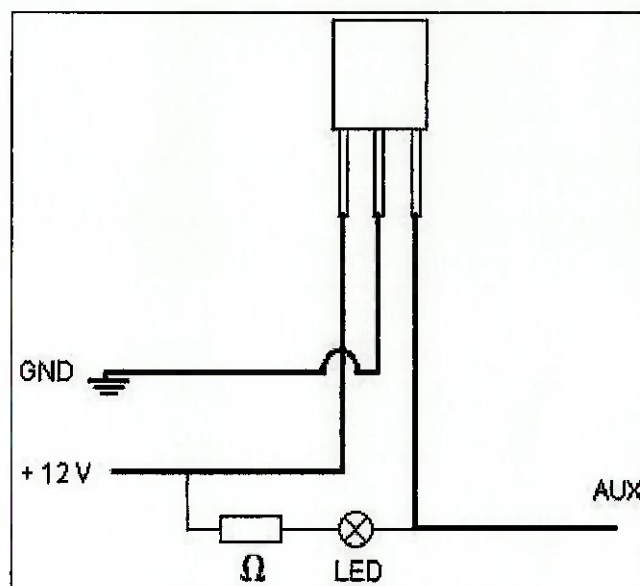


Figura 11b - Esquema elétrico do sensor Hall

O sensor Hall modelo "UGS 3132 718" quando alimentado com uma fonte de tensão contínua de 12 V fornece ao emissor uma saída próxima de 0 V, mas não nula, uma vez que há influências de desuniformidades do material gerando essa voltagem de offset já descrita anteriormente. Essa tensão residual é insignificante, uma vez que o contador de pulsos do computador de bordo detecta variação a partir de 4 V.

Quando o ímã aproxima-se do sensor, este sofre a influência do campo e imediatamente satura. Assim sendo, a tensão no auxiliar atinge um valor muito próximo de 12 V.

Como o sensor trabalha com 12 V ou 100 mV e o sistema atua de forma cíclica, obviamente haverá um sinal de onda quadrada onde será detectada a variação a nível, contabilizando assim os giros da engrenagem.

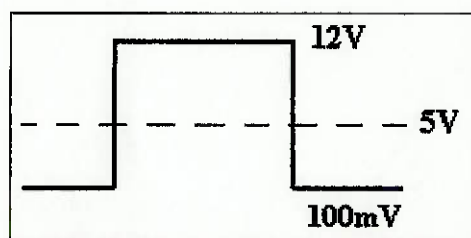


Figura 12b - Sinal de saída do sensor Hall

Assim, uma monitoração visual simples é implantada através do uso de um LED em série com o "pull-up" (resistor). Quando o transistor (Hall) não está saturado, ou seja, o auxiliar está próximo de 0 V, uma corrente passará pela ligação entre a entrada 12 V e o auxiliar, o que acenderá o LED. É importante perceber que esta corrente deve ser limitada, pois a entrada auxiliar do computador de bordo poderá a vir queimar. Para evitar isso, um resistor de 2,2 k Ω . foi introduzido na ligação ("pull-up").

Além disso o fator "fluxo pulsante", característico dos sistemas de combustível dos veículos, interferiu de forma direta na construção do sistema elétrico. Considerando que a engrenagem pode sofrer um recuo de alguns graus a cada ciclo, deve-se notar uma peculiaridade na utilização de um único sensor e um único ímã. Supondo-se que num dado momento o ímã da engrenagem pare sob o sensor, o contador contabilizará um giro, desta forma, ocorrendo o recuo suficiente para que o sensor não sofra mais atuação do campo magnético, a engrenagem passará por ele novamente, acionando-o e assim contabilizando uma nova volta sem mesmo que as engrenagens a tenham realizada.

A configuração original do Econovias apresentava dois sensores Namur dispostos 180° em relação a posição do ímã na engrenagem de tal maneira que uma volta só seria contabilizada depois que o ímã passasse pelos dois pontos do sensor. Ou seja, ao passar sobre o primeiro sensor Namur, ativar-se-ia um sinal de "set" que seria "complementado" ao se passar pelo outro sensor à 180° . Este enviaria um sinal de "reset" que permitiria a mudança de nível e assim um sinal seria contabilizado.

Conclui-se que nesta configuração a margem de segurança aos erros de contagem de voltas é muito maior, uma vez que o recuo da engrenagem deveria ser superior a 180° .

No projeto do protótipo propôs-se a eliminação do sensor Namur devido ao seu custo. A configuração com o sensor do tipo Hall baseou-se na implementação semelhante ao Namur, onde utilizou-se 2 elementos Hall situados 180° entre si, com o mesmo circuito eletrônico de contabilização.

B.5. Metodologia e procedimentos experimentais

O princípio do medidor de vazão por engrenagens é o de isolamento de quatro volumes de fluido a cada volta completa da engrenagem. A contabilização do número de voltas da engrenagem em um ensaio era feita pela detecção do sinal do ímã, contido em uma engrenagem, por um sensor. Deste, o sinal pulsante era enviado para o computador de bordo, que fazia a contagem através de um contador interno que é identificado por "Auxiliômetro".

O principal resultado que se pretende nos ensaios para caracterizar o medidor de vazão é uma constante K, denominada neste trabalho de constante de vazão. Este coeficiente é calculado como sendo a relação entre o volume de líquido deslocado pelo medidor em uma volta ou pulso, resultando em um valor do tipo: mL/pulos.

B.5.1. Ensaios nos Laboratórios de Mecânica dos Fluidos e Máquinas Hidráulicas

Os ensaios foram feitos tomando-se por base a medida da massa ΔM de fluido que passava pelo medidor durante um certo período de tempo ΔT . O procedimento de cada ensaio seguia a seqüência descrita abaixo:

- a) primeiramente era ajustada uma vazão na bomba dosadora;
- b) enquanto o fluxo estava direcionado para o retorno, era anotado o número do contador do Blue Bird em uma célula da planilha do Excel;
- c) o fluxo era então direcionado, utilizando-se uma válvula de três vias, para o medidor ao mesmo tempo que era iniciada a contagem do tempo do ensaio;
- d) na saída do medidor era colocado um recipiente que funcionava como um reservatório para captar o fluido que saia do medidor;
- e) o recipiente estando quase cheio, o fluxo era desviado novamente para o retorno e o cronômetro era paralisado;
- f) a planilha era atualizada com os dados do cronômetro (minutos e segundos de duração do ensaio), com o valor da massa de fluido contida no recipiente e com o número registrado pelo contador do computador de bordo durante o ensaio;
- g) a partir desses dados os demais eram automaticamente calculados.

B.5.2. Ensaio no IPT

No caso dos ensaios feitos no IPT o procedimento era similar, sendo ignoradas as etapas c) e e), pois não havia um controle do direcionamento do fluxo de diesel que passava constantemente pelo medidor. O início e o fim do ensaio era definido através de um indicador luminoso, que informava o acionamento da contagem do tempo. O valor do contador de pulsos do computador de bordo era avaliado e anotado na planilha.

O padrão de referência para determinar a vazão (consumo) de combustível no ensaio realizado em um motor diesel foi um sistema de medição de massa. Ele possuía um reservatório associado a uma célula de carga (balança), que media a massa que era efetivamente consumida durante um período de tempo pré-determinado. Para tanto o reservatório onde a variação de massa era medida recebia uma massa inicial, e no início da contagem do período de tempo ele cedia combustível para o motor e recebia o retorno deste.

A resolução do sistema de pesagem era de 0,1 g e a capacidade máxima do reservatório era aproximadamente 750,0 g. Os períodos de tempo eram avaliados por cronômetro interno ao sistema.

A proposta destes ensaios consistia em ensaiar o protótipo do medidor de vazão para um mesmo intervalo de tempo, na linha de admissão e na linha de retorno, fixando-se uma mesma condição de rotação e de carga do motor, ou seja, tecnicamente uma mesma condição de vazão.

Conhecendo-se a massa de diesel consumida proveniente do medidor mássico da bancada, a massa específica e o número de pulsos da medição nas duas configurações, pode-se estimar a relação mL/pulso do medidor para aquela dada condição do motor (rpm e carga).

B.6. DESCRIÇÃO DAS BANCADAS DE ENSAIO

A princípio, tinha-se o objetivo de se utilizar uma das bancadas didáticas do Laboratório de Mecânica dos Fluidos que utilizam água, mas a vazão proporcionada pela bomba era extremamente alta havendo necessidade de uma importante redução da pressão e vazão através de um dispositivo.

Diante dessa impossibilidade optou-se por utilizar uma bomba dosadora Filsan (modelo D68 – 2 fases) que apresentava um comportamento semelhante, ou pelo menos mais próximo do esperado em um veículo. Esta bomba do Laboratório de Máquinas Hidráulicas apresenta uma condição de fluxo pulsante gerada através de um diafragma movido por um came.

Além disso esta bomba possuía uma faixa de vazão compatível com o estudo feito a respeito do consumo do caminhão e sua velocidade desenvolvida, como mostra a tabela a seguir:

Tabela 3b - Tabela da estimativa do consumo de diesel de um caminhão

Consumo Km/L	Velocidade km/h	Vazão L/h	Vazão L/min
2	20	10,00	0,17
2	30	15,00	0,25
2	35	17,50	0,29
3	35	11,67	0,19
3	40	13,33	0,22
3	90	30,00	0,50
4	90	22,50	0,38
4	50	12,50	0,21
4	55	13,75	0,23
5	60	12,00	0,20
5	90	18,00	0,30
5	70	14,00	0,23
6	75	12,50	0,21
6	80	13,33	0,22
6	90	15,00	0,25
7	85	12,14	0,20
7	90	12,86	0,21
7	90	12,86	0,21
8	60	7,50	0,13
8	95	11,88	0,20
8	100	12,50	0,21

Desta forma foi montada uma bancada de testes com a bomba dosadora e começaram a ser feitos os ensaios com água e com óleo diesel (descritos neste trabalho).

Na montagem da bancada de ensaio, foram usados:

- uma bomba dosadora – modelo Filsan D68 / 2 fases/ 110-220 V;
- uma balança digital Micronal B6000 (6Kg) – resolução 0,1 g;
- válvula de três vias;
- reservatório de água (43L);
- reservatório de Diesel (20 L);
- fonte Hewlett Packard - modelo E 3617A;
- reservatório de captação (2L e 5L)
- computador de Bordo Blue Bird - IBM;
- computador portátil IBM – Thinkpad com software de interface com o Blue Bird;
- filtro de água e óleo diesel (Fran);
- mangueiras;
- conexões;
- abraçadeiras.

A bancada de ensaio do Laboratório de Mecânica dos Fluidos seguia o seguinte esquema:

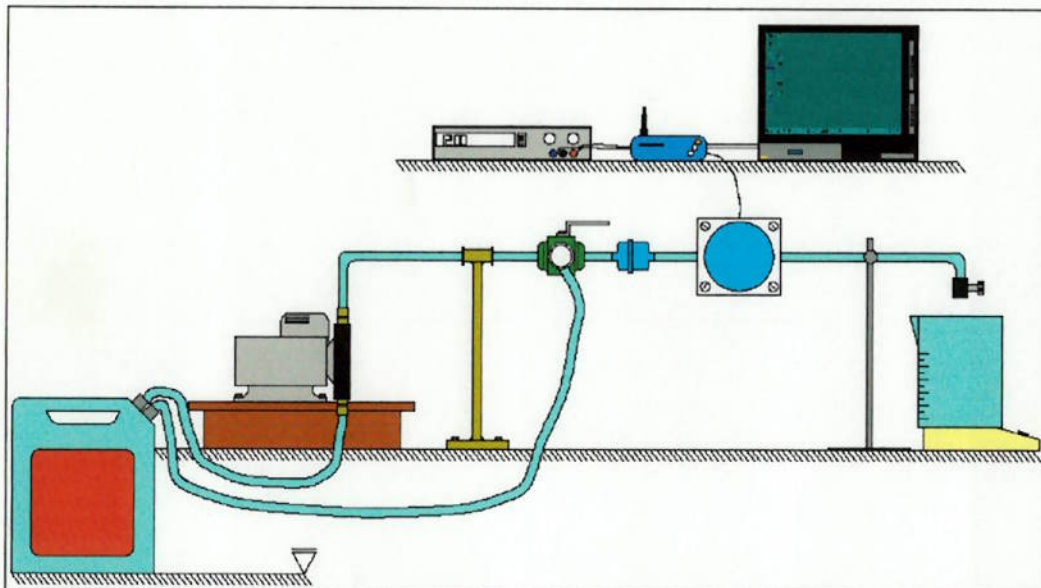


Figura 13b - Bancada de Ensaios montada no Lab. de Mec. dos Fluidos



Figura 14b - Foto da bancada de ensaios montada no Lab. de Mec. dos Fluidos

No IPT foi utilizado um aparato experimental com um motor diesel de seis cilindros da Mercedes-Benz, um medidor mássico e outros equipamentos.

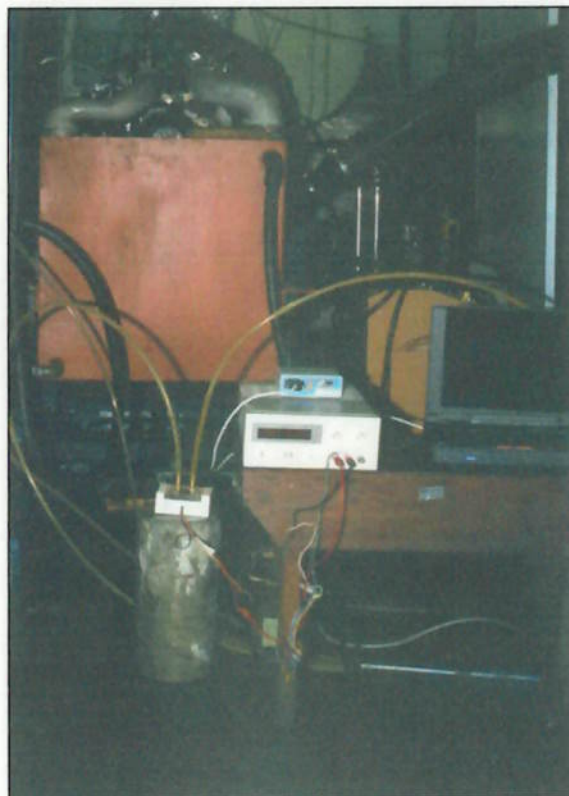


Figura 15b - Foto da bancada de ensaios montada no IPT

B.7 DADOS EXPERIMENTAIS

Na etapa de ensaio do Econovias e do Protótipo foi utilizada uma planilha no Excel de modo a automatizar a coleta de dados e o cálculo dos resultados.

Segue abaixo um exemplo da tabela que ilustra o procedimento de coleta de dados:

Tabela 4b - Exemplo da tabela usada nos ensaios

Ensaio	BB_Início	BB_Fim	Massa (g)	ρ (kg/m ³)	M Inicial (g)	tempo (min)	tempo (s)	ΔT (min)
1	328	677	1154,10	997,40	532,70	2,00	31,00	2,52
2	1650	1999	1412,50	997,40	532,70	3,00	38,00	3,63
3	2086	2403	1427,50	997,40	532,70	3,00	4,00	3,07
4	7089	7867	2043,00	997,40	0,00	8,00	19,00	8,32

Q (L/min)	δQ	Voltas	Vol (L)	δV	mL/pulsos	δC
0,248	0,002	349	0,6230	0,001	1,785	0,002
0,243	0,001	349	0,8821	0,001	2,527	0,003
0,293	0,002	317	0,8971	0,001	2,830	0,003
0,246	0,001	778	2,0483	0,002	2,633	0,003

A primeira coluna especifica apenas o número do ensaio. As duas colunas seguintes mostram quanto o "Auxiliômetro" (contador) do computador de bordo (Blue Bird) marcava no início e no fim de cada ensaio respectivamente.

A quarta coluna mostra a massa (em gramas) de fluido que passou pelo medidor durante o tempo ΔT do ensaio. A coluna seguinte mostra a massa específica do fluido utilizado (diesel ou água) medida com um picnômetro pelo ensaio a seguir:

Tabela 5b - Ensaio para obtenção da massa específica

Óleo Diesel			
Vol (mL)	Massa (g)	ρ (kg/m ³)	
101,60	92,00	905,51	
101,60	92,30	908,46	
101,60	92,50	910,43	
101,60	92,50	910,43	média
	total	3634,84	908,71

Água			
Vol (mL)	Massa (g)	ρ (kg/m ³)	
101,60	102,00	1003,94	
101,60	101,00	994,09	
101,60	101,02	994,29	
101,60	101,32	997,24	média
	total	3989,57	997,39

A sexta coluna, nem sempre usada, contém a massa inicial do recipiente utilizado para ser descontado da massa final, já com o fluido; mas como foi utilizada uma balança digital com TARA, o recipiente era pesado toda vez antes de se iniciar o ensaio e o marcador da balança era “zerado”.

As três colunas seguintes registram o tempo do ensaio. As duas primeiras marcam os minutos e segundos respectivamente, a terceira corrige este tempo para um valor em minutos (usado nos cálculos de vazão).

A seguir, tem-se a vazão $Q = \frac{\Delta M}{\rho \cdot \Delta T}$ calculada em L/min e o seu respectivo erro. Depois é calculado o número total de voltas da engrenagem, subtraindo-se os valores final e inicial do contador, calculado também o volume de fluido em L, com seu respectivo erro, para poder chegar ao resultado do volume isolado em cada volta pelo medidor, em mL/volta (ou mL/pulso), definindo a constante de vazão K.

A idéia era obter um número satisfatório de experimentos afim de avaliar o comportamento do medidor em várias faixas de vazões, como também fazer um estudo estatístico que permitisse analisar características do medidor, principalmente sua repetitividade e sua constante de vazão K, que são fatores

importantes para caracterizar o medidor.

Os dados foram coletados numa seqüência de ensaios que foram divididos conforme o medidor e o tipo do fluido que era utilizado. Era também especificada uma faixa de vazão para cada conjunto de dados.

No Laboratório de Mecânica dos Fluidos e Máquinas Hidráulicas da Escola Politécnica foram realizados ensaios com o Econovias da Metroval utilizando-se água e óleo diesel, com as engrenagens originais (de Al) e com as engrenagens de resina epóxi. O protótipo projetado neste trabalho foi ensaiado apenas com diesel e com as engrenagens de resina epóxi.

Segue abaixo um esquema que ilustra as etapas de ensaio indicando como os dados experimentais estão dispostos nas tabelas do ANEXO I:

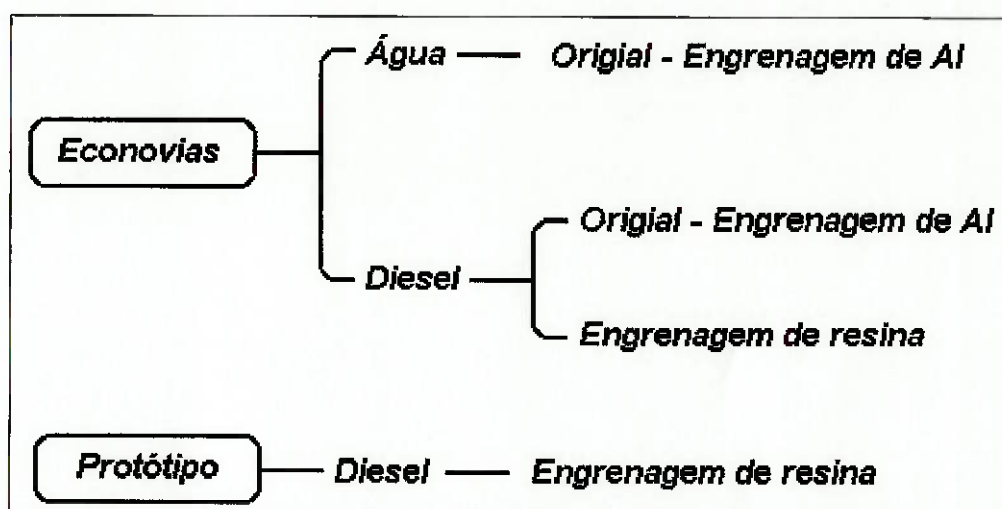


Figura 16b - Seqüência dos ensaios feitos no Laboratório de Mec. dos Fluidos

No IPT os ensaios foram realizados somente com o Protótipo instalado no motor diesel. Este ensaio não avaliou o desempenho do medidor na faixa de vazão em estudo de modo a caracterizar sua constante K e sua repetitividade. Isto ocorreu pois a vazão de combustível para o motor não era a mesma para as duas situações onde foi instalado o medidor, tubulação de admissão de combustível e linha de retorno, para ^uma mesma situação de rotação e carga. Estes dados serviram para uma análise que será detalhada posteriormente.

B.8. RESULTADOS

Os resultados obtidos foram separados em grupos de faixas de vazões e conforme o tipo de medidor utilizado. As tabelas completas dos ensaios estão no ANEXO I deste trabalho.

Seguem abaixo os gráficos referentes a cada tipo de ensaio realizado:

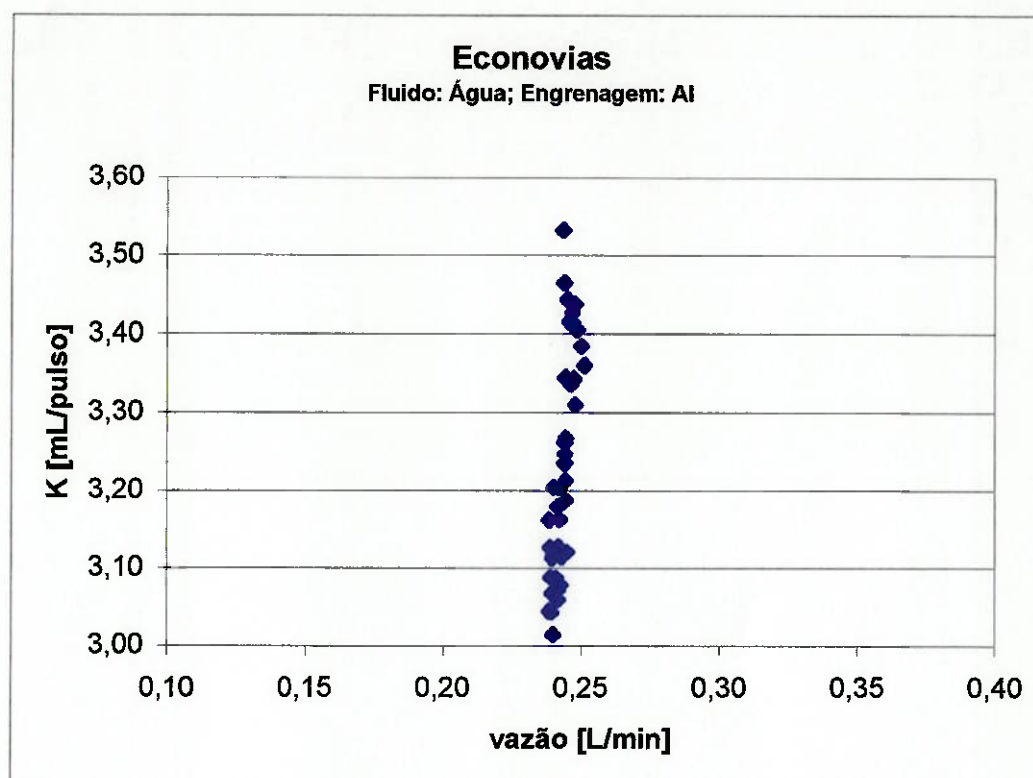


Gráfico 1b - Ensaio do Econovias com água (engrenagem de Al)

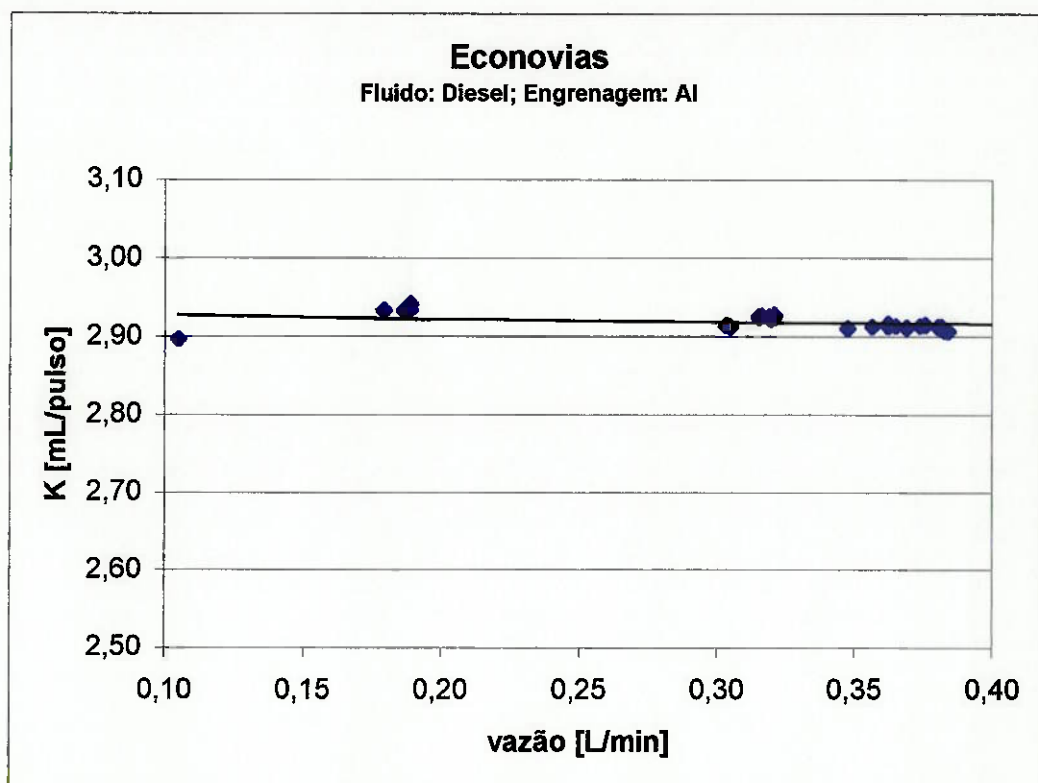


Gráfico 2b - Ensaio do Econovias com diesel (engrenagem de Al)

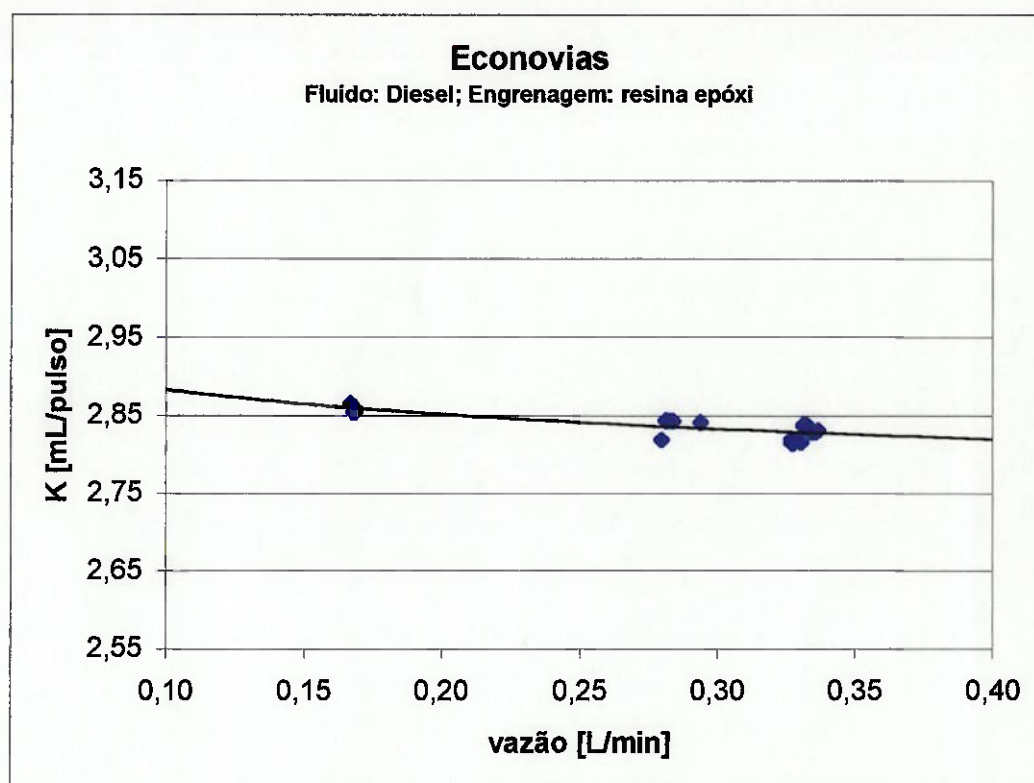


Gráfico 3b - Ensaio do Econovias com diesel (engrenagem de resina epóxi)

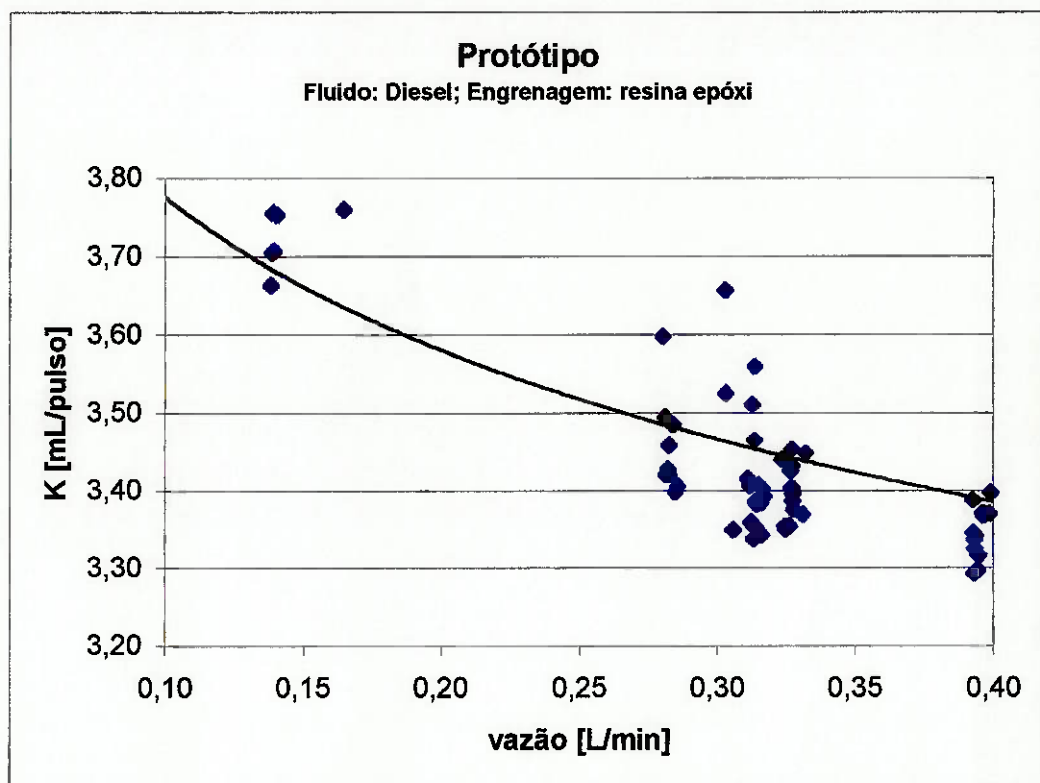


Gráfico 4b - Ensaio do protótipo com diesel (engrenagem de resina epóxi)

B.9. ANÁLISE DOS RESULTADOS

B.9.1. Ensaio do Econovias com água

Os ensaios do Econovias com água foram feitos apenas em uma faixa de vazão, não mostrando o comportamento do medidor em faixas superiores ou inferiores, indicando se o mesmo tinha a sua constante estabilizada ou não em função da vazão.

Nos ensaios com água foram encontradas muitas dificuldades devidas, principalmente, ao atrito e à pulsação. Este último foi resolvido colocando-se uma pequena válvula na saída do medidor, para que fosse induzida uma pressão no medidor. O problema como atrito só foi resolvido nos ensaios feitos com diesel.

Ainda nos ensaios com água, nota-se que há uma amplitude grande entre os valores da constante de vazão K registrados para a vazão em que fez-se o ensaio; reflexo direto dos problemas citados acima.

O valor de vazão nestes ensaios foi de 0,25 L/min, e a constante atingiu um valor médio de 3,17 mL/pulso, sendo sua amplitude de variação de 3,03 mL/pulso a 3,55 mL/pulso.

A câmara foi aberta para uma limpeza geral, principalmente nos dentes das engrenagens. Foi imposto um maior aperto na tampa de acrílico no medidor a fim de se diminuir os vazamentos. O resultado foi interessante, mas os ensaios nessa configuração não se prolongaram mais.

B.9.2. Ensaio do Econovias com diesel

Terminada esta etapa começaram a ser feitos os ensaios utilizando-se óleo diesel. O medidor, com as engrenagens de Al originais, comportou-se perfeitamente com este fluido, e foi observado que, para vazões acima de 0,30 L/min, há uma estabilização na constante que mede a relação mL/pulso. O mesmo comportamento pode ser notado no gráfico 3b onde estão os ensaios do Econovias com as engrenagens de resina epóxi.

Os ensaios com diesel do Econovias com as engrenagens de Al indicam bom funcionamento. Não houve travamentos das engrenagens e a repetitividade da constante K nos resultados, conforme pode-se verificar nos gráficos 2b e 3b. Estas atingiram valores da ordem de 0,15% para vazões acima de 0,30 L/min. A repetitividade global para todas as vazões foi de $\pm 0,54\%$. Para valores menores que 0,20 L/min verificou-se uma dispersão maior, com desvio de 0,076 mL/pulos e repetitividade de 2,4%.

B.9.3. Ensaio do Protótipo com diesel

Por último temos a curva do protótipo, que teve seus ensaios realizados apenas com óleo diesel. Apesar de apresentar maior dispersão no conjunto de dados para uma mesma vazão, seu comportamento é semelhante ao do Econovias, tem uma estabilidade maior para valores de vazão acima de 0,30 L/min.

Pode-se atribuir, como sendo a causa desta dispersão, principalmente às folgas entre as engrenagens, entre as engrenagens e as paredes da câmara e entre as engrenagens e a tampa superior.

Atingiu-se um desempenho satisfatório para o protótipo, com repetitividade da ordem de $\pm 1,00\%$ para a constante de vazão K nas faixas de vazão acima de 0,3 L/min. A repetitividade para a constante K atingiu valores $\pm 0,75\%$ considerando todos os ensaios, que refletiu mais a resposta do medidor nos ensaios com vazões acima de 0,30 L/min visto que os pontos tomados para vazões abaixo de 0,30 L/min foram em menor número.

Para vazões abaixo de 0,20 L/min, a repetitividade piorava (1,40%) e constatou-se que as engrenagens engripavam com frequência.

B.9.4. Ensaios no IPT

Nos ensaios realizados no IPT constatou-se, qualitativamente, que:

- medidor Protótipo na admissão: presença significativa de bolhas de ar no retorno; baixa vazão no retorno;
- medidor Protótipo no retorno: baixa presença de bolhas de ar nesta mangueira; vazão de retorno maior.

Avaliando-se quantitativamente conforme os resultados das tabelas I.5.1 e I.5.2 do ANEXO I tem-se que, para uma mesma rotação na mesma aplicação de carga, o número de voltas registrado com o protótipo instalado no retorno era maior do que com o protótipo na admissão, considerando-se tempos iguais em ambas as situações. Aparentemente era um resultado muito estranho, pois indicando que havia vazão no retorno maior que na admissão. Pensou-se em falha no medidor, o que foi imediatamente descartado pois a confirmação visual desmentia isso.

Foram calculadas as vazões mássicas nas duas situações de instalação e constatou-se que a vazão mássica de retorno com o protótipo instalado nessa própria linha era maior do que na situação onde o medidor estava instalado na linha de admissão.

A justificativa pode ser dada pelo aumento de perda de carga imposta pelo medidor na linha de admissão. Supondo-se que o motor consome a mesma vazão em ambas as instalações do medidor, pode-se concluir que a perda de carga, imposta pelo medidor na admissão, faz com que a vazão de admissão diminua e conseqüentemente o retorno também.

Quando o medidor está instalado no retorno ocorre que uma perda de carga é introduzida nesta linha e verifica-se visualmente uma maior continuidade no fluxo. A vazão de admissão aumenta em relação a primeira situação pois não existe mais a perda de carga da primeira situação. Supondo-se que o motor está consumindo a mesma taxa de combustível, o retorno conseqüentemente será maior, diminuindo assim a quantidade de bolhas na linha de retorno.

Para o cálculo dessas vazões foi adotado um valor fixo da constante K L/pulso extraído da curva dos ensaios com diesel do protótipo na bomba Filsan. Foi escolhido um valor médio ($K = 3,35$ mL/pulso) da curva para uma faixa de vazão acima de 0,30 L/min, visto que o escoamento nas linhas de alimentação do motor indicavam valores iguais e superiores a este. É válido relembrar que a vazão máxima obtida com a bomba dosadora atingiu valores da ordem de 0,40 L/min.

Os valores encontrados indicam que a faixa de vazão na admissão de um motor diesel com um medidor instalado é de aproximadamente 0,80 L/min.

B.10. CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS

Grande parte do desenvolvimento do projeto foi concluído satisfatoriamente onde pôde-se atingir resultados que justificaram todo o investimento técnico realizado.

Uma vez em contato com um medidor existente no mercado deparou-se com vários aspectos de funcionalidade e fabricação, onde, através da observação crítica e dos ensaios preliminares pôde-se atuar de forma decisiva no projeto de um protótipo.

Pelos dados experimentais concluiu-se que o desempenho do projeto esteve dentro do esperado, uma vez que alguns de seus elementos constituintes foram produzidos de uma forma artesanal e outros, mesmo através de processos de usinagem tradicionais, não puderam seguir um padrão rígido de determinação dimensional e de tolerâncias.

Isto pode indicar o motivo de um menor desempenho do protótipo em relação ao Econovias, especialmente para baixas vazões.

A repetitividade da constante de vazão K de ambos foi muito próxima ($< 1,00\%$), para vazões na região de 0,30 L/min e 0,40 L/min, mas quando observou-se a variação percentual de K nos pontos extremos dos gráficos apresentados, o desempenho do protótipo situou-se abaixo do Econovias.

O protótipo apresentou uma variação muito grande na sua constante ao longo das faixas de vazões, notando-se um aumento acentuado da curva quando se reduzia a vazão abaixo de 0,30 L/min. Para que os resultados do protótipo fossem totalmente satisfatórios, a diferença da constante em vazões baixas para a constante em vazões altas não poderia ser superior a 2,00% (valor do medidor Metroval). Infelizmente esse valor atingiu os 8,00%, o que pode diminuir a confiabilidade no projeto.

As principais características encontradas no medidor, a partir da análise do protótipo, são:

- Resultados satisfatórios para medições com vazão acima de 0,30 L/min;
- Excelente comportamento do sistema eletrônico;
- Perfeita integração com o sistema de aquisição de sinal;
- Baixo custo do protótipo(< R\$ 150);

Para uma futura complementação do projeto faz-se necessário a construção de engrenagens de poliacetal e de um novo corpo do medidor, construídos preferencialmente por injeção plástica. Satisfeitas as condições de tolerância, partir-se-ia à todos os ensaios experimentais novamente, e, dependendo-se dos resultados, uma resposta conclusiva quanto a viabilidade do projeto poderia ser dada.

ANEXO I

TABELAS DOS ENSAIOS

Tabela I.1 - Ensaios do Econovias com água e engrenagem de Alumínio.

Ensaio	Massa (g)	δM (g)	ρ (kg/m ³)	$\delta \rho$ (kg/m ³)	ΔT (min)	$\delta \Delta T$ (min)	Q (L/min)	δQ (L/min)	Pulsos	V (L)	δV (L)	K (mL/pulso)	δK (mL/pulso)
1	621,4	0,1	997,4	3,0	2,52	0,02	0,248	0,002	349	0,62	0,00	1,79	0,01
2	879,8	0,1	997,4	3,0	3,63	0,02	0,243	0,001	349	0,88	0,00	2,53	0,01
3	894,8	0,1	997,4	3,0	3,07	0,02	0,293	0,002	317	0,90	0,00	2,83	0,01
4	2043,0	0,1	997,4	3,0	8,32	0,02	0,246	0,001	778	2,05	0,01	2,63	0,01
5	2017,2	0,1	997,4	3,0	8,20	0,02	0,247	0,001	753	2,02	0,01	2,69	0,01
6	2083,9	0,1	997,4	3,0	8,38	0,02	0,249	0,001	753	2,09	0,01	2,77	0,01
7	2082,1	0,1	997,4	3,0	8,42	0,02	0,248	0,001	776	2,09	0,01	2,69	0,01
8	21000,0	0,1	997,4	3,0	85,02	0,02	0,248	0,001	8575	21,05	0,06	2,46	0,01
9	18000,0	0,1	997,4	3,0	75,67	0,02	0,239	0,001	7279	18,05	0,05	2,48	0,01
10	2092,0	0,1	997,4	3,0	8,57	0,02	0,245	0,001	745	2,10	0,01	2,82	0,01
11	2036,4	0,1	997,4	3,0	16,25	0,02	0,126	0,000	615	2,04	0,01	3,32	0,01
12	2038,1	0,1	997,4	3,0	16,18	0,02	0,126	0,000	996	2,04	0,01	2,05	0,01
13	2048,8	0,1	997,4	3,0	8,43	0,02	0,244	0,001	638	2,05	0,01	3,22	0,01
14	2044,2	0,1	997,4	3,0	8,43	0,02	0,243	0,001	652	2,05	0,01	3,14	0,01
15	1980,7	0,1	997,4	3,0	8,18	0,02	0,243	0,001	834	1,99	0,01	2,38	0,01
16	2020,9	0,1	997,4	3,0	8,35	0,02	0,243	0,001	692	2,03	0,01	2,93	0,01
17	2016,2	0,1	997,4	3,0	8,40	0,02	0,241	0,001	726	2,02	0,01	2,78	0,01
18	2055,9	0,1	997,4	3,0	8,40	0,02	0,245	0,001	613	2,06	0,01	3,36	0,01
19	2054,1	0,1	997,4	3,0	8,37	0,02	0,246	0,001	595	2,06	0,01	3,46	0,01
20	2049,5	0,1	997,4	3,0	8,38	0,02	0,245	0,001	590	2,05	0,01	3,48	0,01
21	2050,1	0,1	997,4	3,0	8,40	0,02	0,245	0,001	579	2,06	0,01	3,55	0,01
22	2041,2	0,1	997,4	3,0	8,42	0,02	0,243	0,001	473	2,05	0,01	4,33	0,01
23	2045,6	0,1	997,4	3,0	8,42	0,02	0,244	0,001	449	2,05	0,01	4,57	0,01
24	2031,9	0,1	997,4	3,0	8,42	0,02	0,242	0,001	429	2,04	0,01	4,75	0,01
25	2048,5	0,1	997,4	3,0	8,40	0,02	0,245	0,001	446	2,05	0,01	4,61	0,01
26	2042,0	0,1	997,4	3,0	8,33	0,02	0,246	0,001	639	2,05	0,01	3,20	0,01
27	2046,0	0,1	997,4	3,0	8,33	0,02	0,246	0,001	654	2,05	0,01	3,14	0,01
28	2045,5	0,1	997,4	3,0	8,35	0,02	0,246	0,001	635	2,05	0,01	3,23	0,01
29	2044,0	0,1	997,4	3,0	8,35	0,02	0,245	0,001	628	2,05	0,01	3,26	0,01
30	2043,0	0,1	997,4	3,0	8,35	0,02	0,245	0,001	630	2,05	0,01	3,25	0,01

Tabela I.1.1 - Ensaios do Econovias com água e engrenagem de Alumínio (continuação).

Ensaio	Massa (g)	δM (g)	ρ (kg/m ³)	$\delta \rho$ (kg/m ³)	ΔT (min)	$\delta \Delta T$ (min)	Q (L/min)	δQ (L/min)	Pulsos	V (L)	δV (L)	K (mL/pulso)	δK (mL/pulso)
31	2000,0	0,1	997,4	3,0	8,37	0,02	0,240	0,001	631	2,01	0,01	3,18	0,01
32	2046,6	0,1	997,4	3,0	8,53	0,02	0,240	0,001	661	2,05	0,01	3,10	0,01
33	2017,6	0,1	997,4	3,0	8,43	0,02	0,240	0,001	661	2,02	0,01	3,06	0,01
34	2030,0	0,1	997,4	3,0	8,45	0,02	0,241	0,001	660	2,04	0,01	3,08	0,01
35	2056,3	0,1	997,4	3,0	8,57	0,02	0,241	0,001	674	2,06	0,01	3,06	0,01
36	2012,8	0,1	997,4	3,0	8,37	0,02	0,241	0,001	666	2,02	0,01	3,03	0,01
37	2012,3	0,1	997,4	3,0	8,40	0,02	0,240	0,001	642	2,02	0,01	3,14	0,01
38	2015,6	0,1	997,4	3,0	8,38	0,02	0,241	0,001	646	2,02	0,01	3,13	0,01
39	2022,4	0,1	997,4	3,0	8,40	0,02	0,241	0,001	647	2,03	0,01	3,13	0,01
40	2030,7	0,1	997,4	3,0	8,40	0,02	0,242	0,001	656	2,04	0,01	3,10	0,01
41	2035,6	0,1	997,4	3,0	8,42	0,02	0,242	0,001	661	2,04	0,01	3,09	0,01
42	2038,7	0,1	997,4	3,0	8,42	0,02	0,243	0,001	662	2,04	0,01	3,09	0,01
43	2042,7	0,1	997,4	3,0	8,40	0,02	0,244	0,001	662	2,05	0,01	3,09	0,01
44	2051,2	0,1	997,4	3,0	8,42	0,02	0,244	0,001	657	2,06	0,01	3,13	0,01
45	2044,8	0,1	997,4	3,0	8,42	0,02	0,244	0,001	645	2,05	0,01	3,18	0,01
46	4542,1	0,1	997,4	3,0	18,75	0,02	0,243	0,001	1481	4,55	0,01	3,07	0,01
47	4751,9	0,1	997,4	3,0	19,63	0,02	0,243	0,001	1491	4,76	0,01	3,20	0,01
48	4712,0	0,1	997,4	3,0	19,57	0,02	0,241	0,001	1467	4,72	0,01	3,22	0,01
49	5030,2	0,1	997,4	3,0	20,25	0,02	0,249	0,001	1516	5,04	0,02	3,33	0,01
50	5041,5	0,1	997,4	3,0	20,43	0,02	0,247	0,001	1507	5,05	0,02	3,35	0,01
51	5001,5	0,1	997,4	3,0	20,42	0,02	0,246	0,001	1527	5,01	0,02	3,28	0,01
52	5031,4	0,1	997,4	3,0	20,57	0,02	0,245	0,001	1539	5,04	0,02	3,28	0,01
53	5076,7	0,1	997,4	3,0	20,17	0,02	0,252	0,001	1507	5,09	0,02	3,38	0,01
54	5123,4	0,1	997,4	3,0	20,57	0,02	0,250	0,001	1501	5,14	0,02	3,42	0,01
55	5037,9	0,1	997,4	3,0	20,35	0,02	0,248	0,001	1472	5,05	0,02	3,43	0,01
56	5016,4	0,1	997,4	3,0	20,28	0,02	0,248	0,001	1460	5,03	0,02	3,44	0,01
57	5263,2	0,1	997,4	3,0	20,57	0,02	0,257	0,001	1479	5,28	0,02	3,57	0,01
58	5041,8	0,1	997,4	3,0	20,33	0,02	0,249	0,001	1504	5,05	0,02	3,36	0,01
59	5105,8	0,1	997,4	3,0	20,37	0,02	0,251	0,001	1505	5,12	0,02	3,40	0,01
60	4972,7	0,1	997,4	3,0	20,02	0,02	0,249	0,001	1443	4,99	0,01	3,46	0,01

Tabela I.2 - Ensaio do Econovias com diesel e engrenagem de Al.

Ensaio	Massa (g)	δM (g)	ρ (kg/m ³)	$\delta \rho$ (kg/m ³)	ΔT (min)	$\delta \Delta T$ (min)	Q (L/min)	δQ (L/min)	Pulsos	V (L)	δV (L)	K (mL/pulso)	δK (mL/pulso)
1	4150,0	0,1	908,7	3,0	43,47	0,02	0,105	0,000	1552	4,57	0,02	2,94	0,01
2	4526,7	0,1	908,7	3,0	15,60	0,02	0,319	0,001	1608	4,98	0,02	3,10	0,01
3	4307,4	0,1	908,7	3,0	15,62	0,02	0,304	0,001	1601	4,74	0,02	2,96	0,01
4	4402,5	0,1	908,7	3,0	15,10	0,02	0,321	0,001	1629	4,84	0,02	2,97	0,01
5	4352,0	0,1	908,7	3,0	14,93	0,02	0,321	0,001	1612	4,79	0,02	2,97	0,01
6	4373,8	0,1	908,7	3,0	15,05	0,02	0,320	0,001	1621	4,81	0,02	2,97	0,01
7	4347,2	0,1	908,7	3,0	15,00	0,02	0,319	0,001	1610	4,78	0,02	2,97	0,01
8	4319,8	0,1	908,7	3,0	15,02	0,02	0,317	0,001	1599	4,75	0,02	2,97	0,01
9	4285,0	0,1	908,7	3,0	14,95	0,02	0,315	0,001	1587	4,72	0,02	2,97	0,01
10	4273,5	0,1	908,7	3,0	11,27	0,02	0,417	0,002	1587	4,70	0,02	2,96	0,01
11	4224,0	0,1	908,7	3,0	12,10	0,02	0,384	0,001	1574	4,65	0,02	2,95	0,01
12	4249,1	0,1	908,7	3,0	12,22	0,02	0,383	0,001	1583	4,68	0,02	2,95	0,01
13	4317,0	0,1	908,7	3,0	12,45	0,02	0,382	0,001	1605	4,75	0,02	2,96	0,01
14	4264,0	0,1	908,7	3,0	12,33	0,02	0,380	0,001	1586	4,69	0,02	2,96	0,01
15	4241,8	0,1	908,7	3,0	12,65	0,02	0,369	0,001	1578	4,67	0,02	2,96	0,01
16	4246,6	0,1	908,7	3,0	13,43	0,02	0,348	0,001	1580	4,67	0,02	2,96	0,01
17	4161,8	0,1	908,7	3,0	12,25	0,02	0,374	0,001	1547	4,58	0,02	2,96	0,01
18	4327,8	0,1	908,7	3,0	13,35	0,02	0,357	0,001	1609	4,76	0,02	2,96	0,01
19	4353,7	0,1	908,7	3,0	13,22	0,02	0,363	0,001	1619	4,79	0,02	2,96	0,01
20	4303,3	0,1	908,7	3,0	12,60	0,02	0,376	0,001	1599	4,74	0,02	2,96	0,01
21	4292,6	0,1	908,7	3,0	25,00	0,02	0,189	0,001	1581	4,72	0,02	2,99	0,01
22	4239,4	0,1	908,7	3,0	24,72	0,02	0,189	0,001	1565	4,67	0,02	2,98	0,01
23	4283,5	0,1	908,7	3,0	25,25	0,02	0,187	0,001	1582	4,71	0,02	2,98	0,01
24	4391,5	0,1	908,7	3,0	13,33	0,02	0,362	0,001	1631	4,83	0,02	2,96	0,01
25	4287,7	0,1	908,7	3,0	12,92	0,02	0,365	0,001	1594	4,72	0,02	2,96	0,01
26	4156,7	0,1	908,7	3,0	25,55	0,02	0,179	0,001	1535	4,57	0,02	2,98	0,01

Tabela I.3 - Ensaio do Econovias com diesel e engrenagem de resina epóxi.

Ensaio	Massa (g)	δM (g)	ρ (kg/m ³)	$\delta \rho$ (kg/m ³)	ΔT (min)	$\delta \Delta T$ (min)	Q (L/min)	δQ (L/min)	Pulsos	V (L)	δV (L)	K (mL/pulso)	δK (mL/pulso)
1	4248,0	0,1	908,7	3,0	13,88	0,02	0,337	0,001	1625	4,67	0,02	2,88	0,01
2	4247,8	0,1	908,7	3,0	13,92	0,02	0,336	0,001	1626	4,67	0,02	2,87	0,01
3	4278,8	0,1	908,7	3,0	14,08	0,02	0,334	0,001	1638	4,71	0,02	2,87	0,01
4	4207,5	0,1	908,7	3,0	13,93	0,02	0,332	0,001	1605	4,63	0,02	2,88	0,01
5	4211,0	0,1	908,7	3,0	13,95	0,02	0,332	0,001	1608	4,63	0,02	2,88	0,01
6	4229,2	0,1	908,7	3,0	14,03	0,02	0,332	0,001	1614	4,65	0,02	2,88	0,01
7	4249,5	0,1	908,7	3,0	14,10	0,02	0,332	0,001	1622	4,68	0,02	2,88	0,01
8	4160,8	0,1	908,7	3,0	13,90	0,02	0,329	0,001	1599	4,58	0,02	2,86	0,01
9	3939,8	0,1	908,7	3,0	13,12	0,02	0,331	0,001	1515	4,34	0,01	2,86	0,01
10	4281,8	0,1	908,7	3,0	14,40	0,02	0,327	0,001	1647	4,71	0,02	2,86	0,01
11	4214,9	0,1	908,7	3,0	14,15	0,02	0,328	0,001	1622	4,64	0,02	2,86	0,01
12	4270,3	0,1	908,7	3,0	14,37	0,02	0,327	0,001	1640	4,70	0,02	2,87	0,01
13	4270,1	0,1	908,7	3,0	14,35	0,02	0,327	0,001	1641	4,70	0,02	2,86	0,01
14	4216,7	0,1	908,7	3,0	16,58	0,02	0,280	0,001	1620	4,64	0,02	2,86	0,01
15	4426,4	0,1	908,7	3,0	16,57	0,02	0,294	0,001	1687	4,87	0,02	2,89	0,01
16	4209,5	0,1	908,7	3,0	16,45	0,02	0,282	0,001	1603	4,63	0,02	2,89	0,01
17	4278,3	0,1	908,7	3,0	16,72	0,02	0,282	0,001	1630	4,71	0,02	2,89	0,01
18	4195,2	0,1	908,7	3,0	16,35	0,02	0,282	0,001	1598	4,62	0,02	2,89	0,01
19	4146,2	0,1	908,7	3,0	16,12	0,02	0,283	0,001	1579	4,56	0,02	2,89	0,01
20	3612,2	0,1	908,7	3,0	14,00	0,02	0,284	0,001	1376	3,98	0,01	2,89	0,01
21	3521,7	0,1	908,7	3,0	23,22	0,02	0,167	0,001	1331	3,88	0,01	2,91	0,01
22	4090,6	0,1	908,7	3,0	26,73	0,02	0,168	0,001	1550	4,50	0,01	2,90	0,01
23	4121,3	0,1	908,7	3,0	26,95	0,02	0,168	0,001	1564	4,54	0,01	2,90	0,01
24	4119,4	0,1	908,7	3,0	27,02	0,02	0,168	0,001	1563	4,53	0,01	2,90	0,01

Tabela I.4 - Ensaios do Protótipo com diesel e engrenagem de resina epóxi.

Ensalo	Massa (g)	δM (g)	ρ (kg/m ³)	$\delta \rho$ (kg/m ³)	ΔT (min)	$\delta \Delta T$ (min)	Q (L/min)	δQ (L/min)	Pulsos	V (L)	δV (L)	K (mL/pulso)	δK (mL/pulso)
1	4374,8	0,1	908,7	3,0	11,25	0,02	0,428	0,002	1263	4,81	0,02	3,81	0,01
2	4306,1	0,1	908,7	3,0	11,05	0,02	0,429	0,002	1237	4,74	0,02	3,83	0,01
3	4332,0	0,1	908,7	3,0	11,15	0,02	0,428	0,002	1257	4,77	0,02	3,79	0,01
4	4389,5	0,1	908,7	3,0	11,25	0,02	0,429	0,002	1256	4,83	0,02	3,85	0,01
5	4372,5	0,1	908,7	3,0	11,25	0,02	0,428	0,002	1266	4,81	0,02	3,80	0,01
6	4413,6	0,1	908,7	3,0	11,35	0,02	0,428	0,002	1269	4,86	0,02	3,83	0,01
7	4400,5	0,1	908,7	3,0	11,35	0,02	0,427	0,002	1276	4,84	0,02	3,80	0,01
8	4413,7	0,1	908,7	3,0	11,42	0,02	0,425	0,002	1421	4,86	0,02	3,42	0,01
9	4430,5	0,1	908,7	3,0	11,42	0,02	0,427	0,002	1434	4,88	0,02	3,40	0,01
10	4412,0	0,1	908,7	3,0	11,40	0,02	0,426	0,002	1431	4,86	0,02	3,39	0,01
11	4275,5	0,1	908,7	3,0	11,70	0,02	0,402	0,001	1403	4,71	0,02	3,35	0,01
12	4293,8	0,1	908,7	3,0	11,75	0,02	0,402	0,001	1405	4,73	0,02	3,36	0,01
13	4276,9	0,1	908,7	3,0	11,75	0,02	0,401	0,001	1389	4,71	0,02	3,39	0,01
14	4369,3	0,1	908,7	3,0	12,00	0,02	0,401	0,001	1428	4,81	0,02	3,37	0,01
15	4286,5	0,1	908,7	3,0	11,80	0,02	0,400	0,001	1249	4,72	0,02	3,78	0,01
16	4266,8	0,1	908,7	3,0	11,77	0,02	0,399	0,001	1382	4,70	0,02	3,40	0,01
17	4268,5	0,1	908,7	3,0	11,78	0,02	0,399	0,001	1394	4,70	0,02	3,37	0,01
18	4270,5	0,1	908,7	3,0	11,85	0,02	0,397	0,001	1394	4,70	0,02	3,37	0,01
19	4287,4	0,1	908,7	3,0	11,90	0,02	0,396	0,001	1401	4,72	0,02	3,37	0,01
20	4235,9	0,1	908,7	3,0	11,77	0,02	0,396	0,001	1383	4,66	0,02	3,37	0,01
21	4318,5	0,1	908,7	3,0	12,08	0,02	0,393	0,001	1429	4,75	0,02	3,33	0,01
22	4279,4	0,1	908,7	3,0	11,98	0,02	0,393	0,001	1430	4,71	0,02	3,29	0,01
23	4299,8	0,1	908,7	3,0	12,00	0,02	0,394	0,001	1435	4,73	0,02	3,30	0,01
24	4283,0	0,1	908,7	3,0	11,95	0,02	0,394	0,001	1421	4,71	0,02	3,32	0,01
25	4305,7	0,1	908,7	3,0	12,00	0,02	0,395	0,001	1429	4,74	0,02	3,32	0,01
26	4310,0	0,1	908,7	3,0	12,05	0,02	0,394	0,001	1419	4,74	0,02	3,34	0,01
27	4296,2	0,1	908,7	3,0	12,02	0,02	0,393	0,001	1422	4,73	0,02	3,32	0,01
28	4308,0	0,1	908,7	3,0	12,07	0,02	0,393	0,001	1417	4,74	0,02	3,35	0,01
29	4287,4	0,1	908,7	3,0	12,00	0,02	0,393	0,001	1414	4,72	0,02	3,34	0,01
30	4269,7	0,1	908,7	3,0	11,97	0,02	0,393	0,001	1387	4,70	0,02	3,39	0,01
31	4298,6	0,1	908,7	3,0	14,45	0,02	0,327	0,001	1397	4,73	0,02	3,39	0,01
32	4270,0	0,1	908,7	3,0	14,37	0,02	0,327	0,001	1381	4,70	0,02	3,40	0,01
33	4356,8	0,1	908,7	3,0	14,65	0,02	0,327	0,001	1412	4,79	0,02	3,40	0,01
34	4363,1	0,1	908,7	3,0	14,68	0,02	0,327	0,001	1411	4,80	0,02	3,40	0,01
35	4369,2	0,1	908,7	3,0	14,70	0,02	0,327	0,001	1413	4,81	0,02	3,40	0,01
36	4396,2	0,1	908,7	3,0	14,77	0,02	0,328	0,001	1433	4,84	0,02	3,38	0,01
37	4359,2	0,1	908,7	3,0	14,67	0,02	0,327	0,001	1389	4,80	0,02	3,45	0,01
38	4281,5	0,1	908,7	3,0	14,40	0,02	0,327	0,001	1373	4,71	0,02	3,43	0,01
39	4286,0	0,1	908,7	3,0	14,43	0,02	0,327	0,001	1377	4,72	0,02	3,43	0,01
40	4405,5	0,1	908,7	3,0	14,65	0,02	0,331	0,001	1439	4,85	0,02	3,37	0,01
41	4431,3	0,1	908,7	3,0	14,68	0,02	0,332	0,001	1414	4,88	0,02	3,45	0,01
42	4298,4	0,1	908,7	3,0	14,92	0,02	0,317	0,001	1394	4,73	0,02	3,39	0,01

Tabela I.4.1 - Ensaio do Protótipo com diesel e engrenagem de resina epóxi (continuação).

Ensaio	Massa (g)	δM (g)	ρ (kg/m ³)	$\delta \rho$ (kg/m ³)	ΔT (min)	$\delta \Delta T$ (min)	Q (L/min)	δQ (L/min)	Pulsos	V (L)	δV (L)	K (mL/pulso)	δK (mL/pulso)
43	4209,9	0,1	908,7	3,0	14,67	0,02	0,316	0,001	1369	4,63	0,02	3,38	0,01
44	4264,2	0,1	908,7	3,0	14,90	0,02	0,315	0,001	1387	4,69	0,02	3,38	0,01
45	4376,8	0,1	908,7	3,0	15,32	0,02	0,314	0,001	1424	4,82	0,02	3,38	0,01
46	4223,1	0,1	908,7	3,0	14,80	0,02	0,314	0,001	1386	4,65	0,02	3,35	0,01
47	4249,3	0,1	908,7	3,0	14,93	0,02	0,313	0,001	1394	4,68	0,02	3,35	0,01
48	4317,1	0,1	908,7	3,0	14,57	0,02	0,326	0,001	1416	4,75	0,02	3,36	0,01
49	4312,5	0,1	908,7	3,0	14,62	0,02	0,325	0,001	1415	4,75	0,02	3,35	0,01
50	4333,1	0,1	908,7	3,0	14,68	0,02	0,325	0,001	1423	4,77	0,02	3,35	0,01
51	4642,6	0,1	908,7	3,0	34,50	0,02	0,148	0,000	1224	5,11	0,02	4,17	0,01
52	4402,3	0,1	908,7	3,0	34,52	0,02	0,140	0,000	1291	4,84	0,02	3,75	0,01
53	4389,2	0,1	908,7	3,0	34,63	0,02	0,139	0,000	1303	4,83	0,02	3,71	0,01
54	4344,0	0,1	908,7	3,0	34,40	0,02	0,139	0,000	1273	4,78	0,02	3,76	0,01
55	4239,2	0,1	908,7	3,0	33,67	0,02	0,139	0,000	1259	4,67	0,02	3,71	0,01
56	4257,9	0,1	908,7	3,0	33,87	0,02	0,138	0,000	1279	4,69	0,02	3,66	0,01
57	4127,5	0,1	908,7	3,0	32,85	0,02	0,138	0,000	1240	4,54	0,01	3,66	0,01
58	4352,2	0,1	908,7	3,0	29,07	0,02	0,165	0,001	1274	4,79	0,02	3,76	0,01
59	4245,7	0,1	908,7	3,0	16,35	0,02	0,286	0,001	1372	4,67	0,02	3,41	0,01
60	4223,8	0,1	908,7	3,0	16,32	0,02	0,285	0,001	1368	4,65	0,02	3,40	0,01
61	4247,0	0,1	908,7	3,0	16,45	0,02	0,284	0,001	1341	4,67	0,02	3,49	0,01
62	4268,5	0,1	908,7	3,0	16,62	0,02	0,283	0,001	1358	4,70	0,02	3,46	0,01
63	4272,7	0,1	908,7	3,0	16,63	0,02	0,283	0,001	1375	4,70	0,02	3,42	0,01
64	4182,4	0,1	908,7	3,0	16,32	0,02	0,282	0,001	1343	4,60	0,02	3,43	0,01
65	4264,0	0,1	908,7	3,0	16,67	0,02	0,282	0,001	1372	4,69	0,02	3,42	0,01
66	4262,0	0,1	908,7	3,0	16,68	0,02	0,281	0,001	1342	4,69	0,02	3,49	0,01
67	4162,4	0,1	908,7	3,0	16,33	0,02	0,280	0,001	1273	4,58	0,02	3,60	0,01
68	4452,5	0,1	908,7	3,0	16,17	0,02	0,303	0,001	1390	4,90	0,02	3,53	0,01
69	4217,3	0,1	908,7	3,0	15,32	0,02	0,303	0,001	1269	4,64	0,02	3,66	0,01
70	4350,5	0,1	908,7	3,0	15,28	0,02	0,313	0,001	1434	4,79	0,02	3,34	0,01
71	4340,4	0,1	908,7	3,0	15,10	0,02	0,316	0,001	1404	4,78	0,02	3,40	0,01
72	4364,3	0,1	908,7	3,0	15,32	0,02	0,314	0,001	1386	4,80	0,02	3,47	0,01
73	4343,9	0,1	908,7	3,0	15,23	0,02	0,314	0,001	1343	4,78	0,02	3,56	0,01
74	4297,3	0,1	908,7	3,0	15,12	0,02	0,313	0,001	1347	4,73	0,02	3,51	0,01
75	4454,3	0,1	908,7	3,0	15,72	0,02	0,312	0,001	1439	4,90	0,02	3,41	0,01
76	4307,1	0,1	908,7	3,0	15,23	0,02	0,311	0,001	1388	4,74	0,02	3,41	0,01
77	4328,0	0,1	908,7	3,0	15,12	0,02	0,315	0,001	1398	4,76	0,02	3,41	0,01
78	4325,0	0,1	908,7	3,0	15,10	0,02	0,315	0,001	1422	4,76	0,02	3,35	0,01
79	4288,7	0,1	908,7	3,0	15,03	0,02	0,314	0,001	1394	4,72	0,02	3,39	0,01
80	4298,3	0,1	908,7	3,0	15,15	0,02	0,312	0,001	1408	4,73	0,02	3,36	0,01
81	4382,2	0,1	908,7	3,0	14,90	0,02	0,324	0,001	1402	4,82	0,02	3,44	0,01
82	4337,8	0,1	908,7	3,0	15,08	0,02	0,316	0,001	1408	4,77	0,02	3,39	0,01
83	4349,0	0,1	908,7	3,0	15,65	0,02	0,306	0,001	1429	4,79	0,02	3,35	0,01
84	4346,9	0,1	908,7	3,0	15,13	0,02	0,316	0,001	1431	4,78	0,02	3,34	0,01

I.5 - Ensaio do Protótipo no motor diesel ($\rho = 848,00 \frac{kg}{m^3}$) e engrenagem de resina epóxi (Ensaio do IPT).

Tabela I.5.1. - Protótipo na linha de admissão do motor

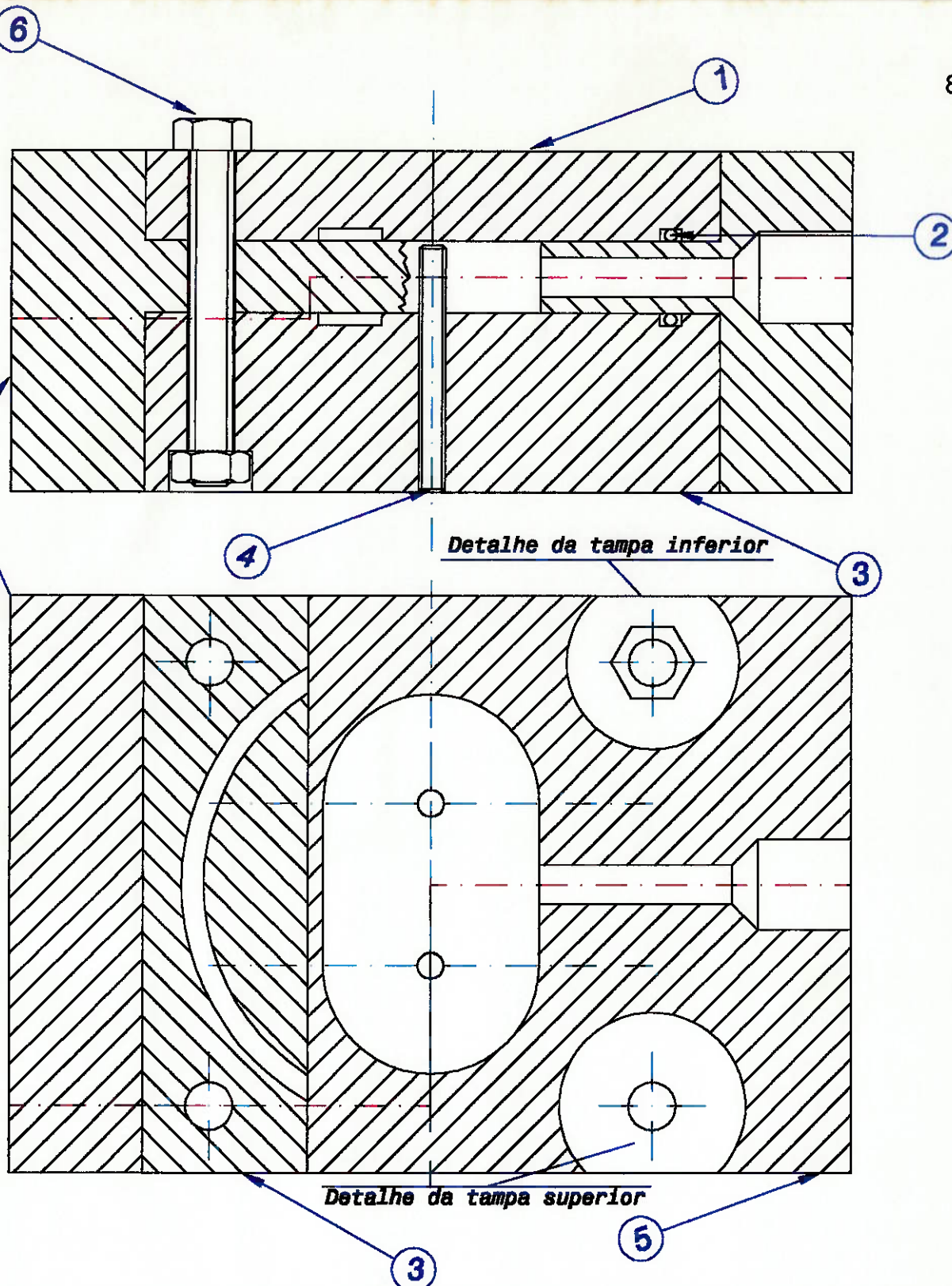
Ensaio	Massa (g)	ΔT (min)	δt (min)	Q (L/min)	δQ (L/min)	Pulsos	δ Pulsos	V (L)	Q _{adm} (L/min)	δQ_{adm} (L/min)
1	224,1	1,67	0,03	0,159	0,002	389	4	0,2643	0,78	0,02
2	232,4	1,67	0,03	0,164	0,002	416	4	0,2741	0,84	0,02
3	275,4	1,67	0,03	0,195	0,002	454	4	0,3248	0,91	0,02
4	261,2	1,67	0,03	0,185	0,002	449	4	0,3080	0,90	0,02
5	430,8	1,67	0,03	0,305	0,003	440	4	0,5080	0,88	0,02
6	432,5	1,67	0,03	0,306	0,003	444	4	0,5100	0,89	0,02
7	542,7	1,67	0,03	0,384	0,004	461	4	0,6400	0,93	0,02
8	521,2	1,67	0,03	0,369	0,004	421	4	0,6146	0,85	0,02
9	703,6	1,67	0,03	0,498	0,006	626	4	0,8297	1,26	0,03
10	365,8	0,83	0,03	0,518	0,011	264	4	0,4314	1,06	0,05

Tabela I.5.2 - Protótipo na linha de retorno do motor

Ensaio	Massa (g)	ΔT (min)	δt (min)	Q (L/min)	δQ (L/min)	Pulsos	δ Pulsos	V (L)	Q _{ret} (L/min)	δQ_{ret} (L/min)
1	226,1	1,67	0,03	0,160	0,002	622	4	0,2666	1,25	0,03
2	225,4	1,67	0,03	0,159	0,002	562	4	0,2658	1,13	0,02
3	266,9	1,67	0,03	0,189	0,002	539	4	0,3147	1,08	0,02
4	262,9	1,67	0,03	0,186	0,002	536	4	0,3100	1,08	0,02
5	439,9	1,67	0,03	0,311	0,003	493	4	0,5188	0,99	0,02
6	430,3	1,67	0,03	0,304	0,003	497	4	0,5074	1,00	0,02
7	547,3	1,67	0,03	0,387	0,004	641	4	0,6454	1,29	0,03
8	538,1	1,67	0,03	0,381	0,004	557	4	0,6346	1,12	0,02
9	708,2	1,67	0,03	0,501	0,006	616	4	0,8351	1,24	0,03
10	355,2	0,83	0,03	0,503	0,010	310	4	0,4189	1,25	0,05

ANEXO II

DESENHOS DE FABRICAÇÃO



Peça	Quant.	Descrição	Dimensões	Material	OBS.
1	1	Tampa Superior	65x65	Tecnil	Acrílico (Protótipo)
2	2	Anel de Vedação	50.52x1.78	Elastômero	
3	1	Tampa Inferior	65x65	Tecnil	
4	2	Eixo da engrenagem	3.00x41.25	Aço	
5	1	Tampa em H com Câmara		Tecnil	Medidas o Des. Fabricação
6	4	Parafuso	M5x40	Aço	

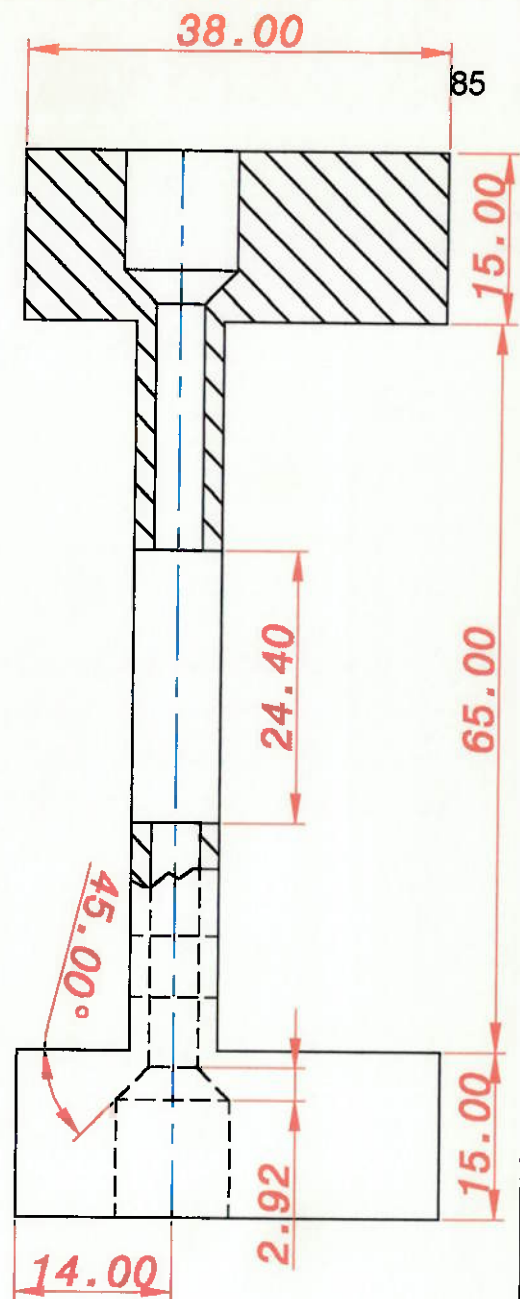
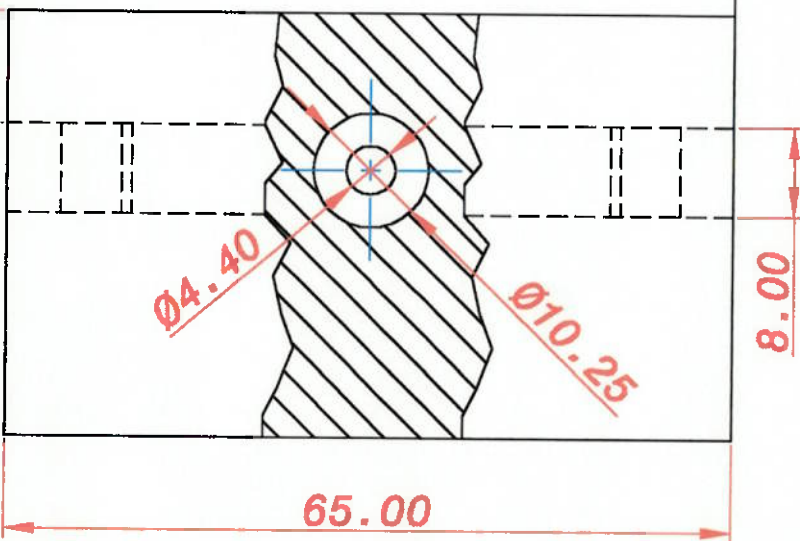
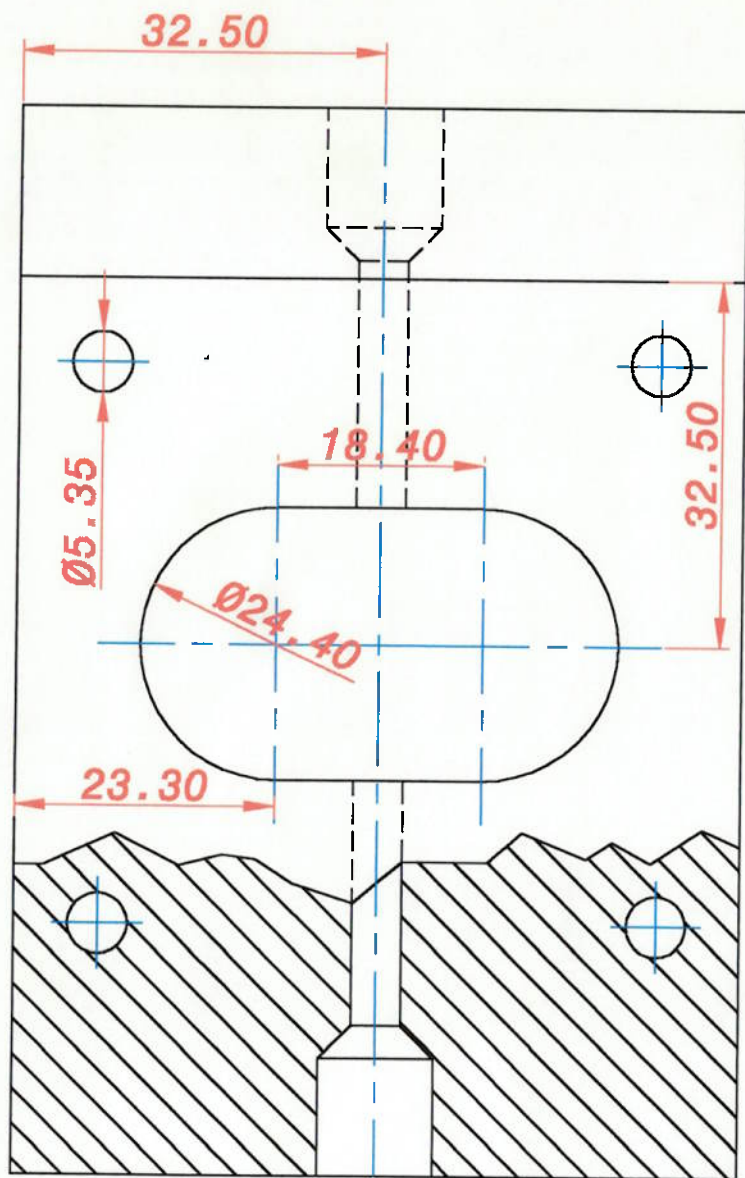
Desenho de Conjunto

01.01.1999

Escala: 1.5:1

Título: Medidor de Vazão
de combustível

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo



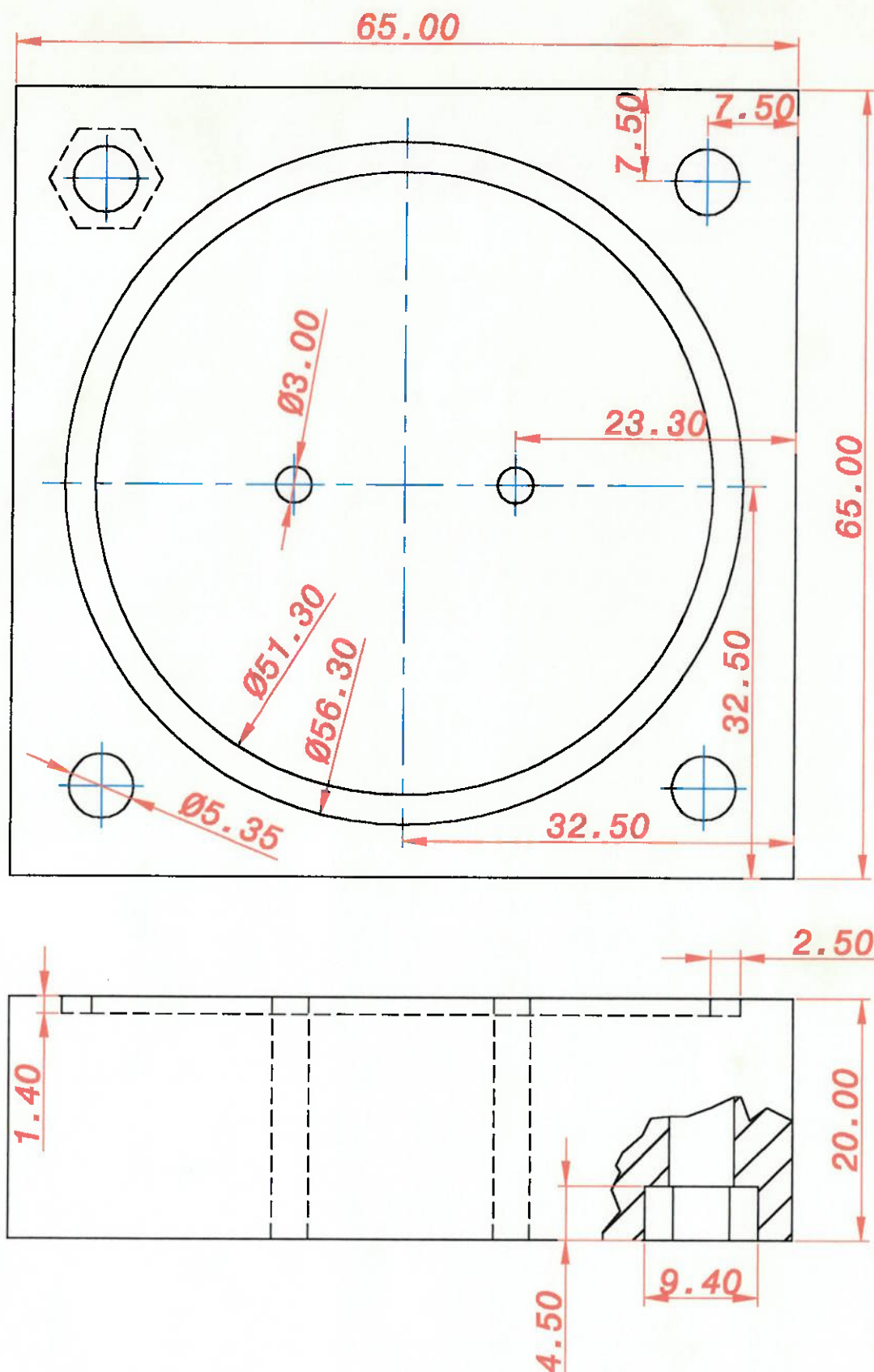
senho de Fabricação

01.1999

Escala: 1.5:1

Título: Câmara Com Dutos
Para Entrada e Saída
Do Fluido

ola Politécnica da Universidade de São Paulo



senho de Fabricação

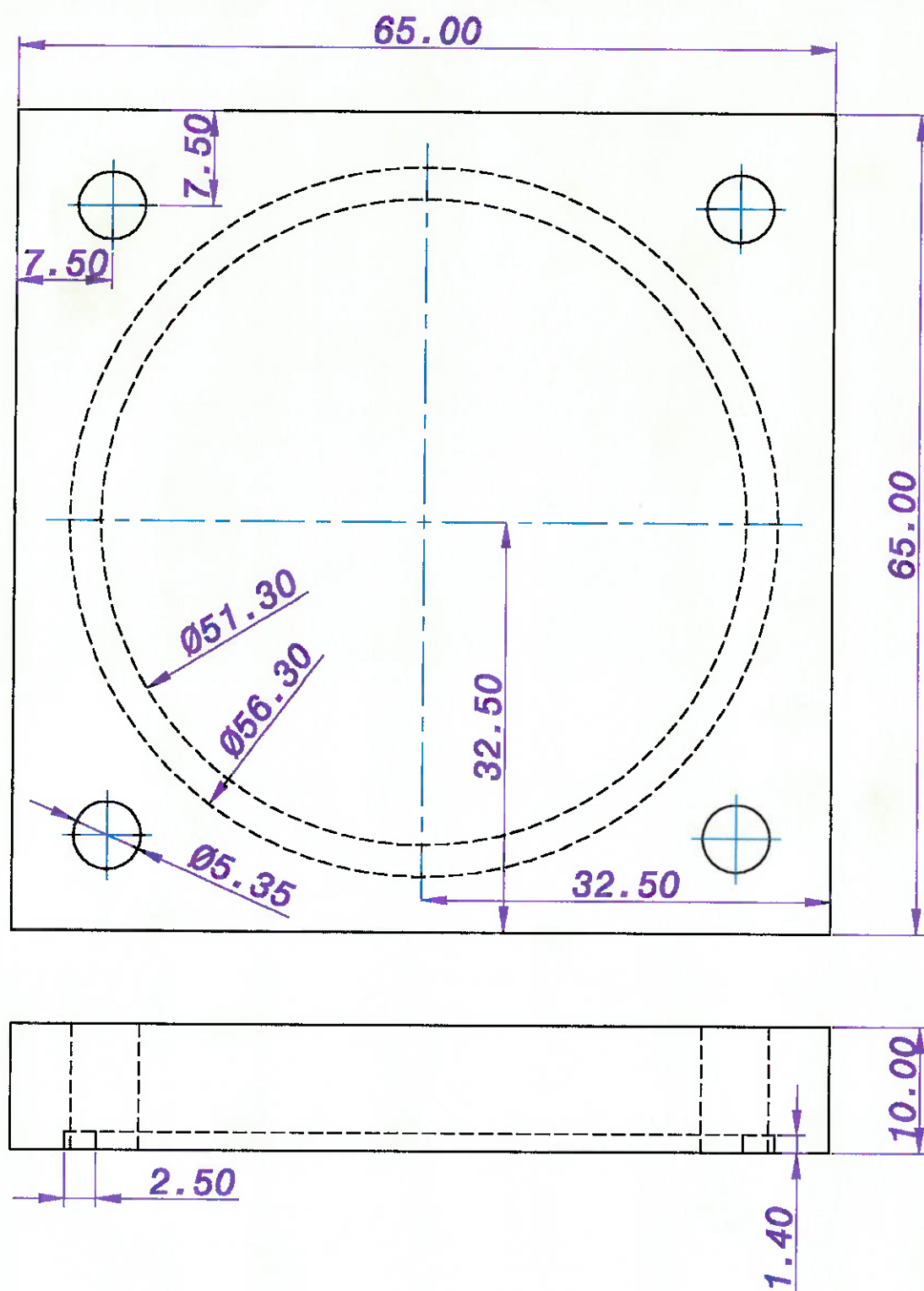
1.01.1999

Escala:

2:1

Título: Tampa Superior Com Rasgo
Para Anel De Vedação
E Porca Embutida

ola Politécnica da Universidade de São Paulo



senho de Fabricação

01.1999

Escala:

2:1

Título:

Tampa Superior Com Rasgo
Para Anel De Vedação

ola Politécnica da Universidade de São Paulo

BIBLIOGRAFIA

- [1] MILLER, R. W., Flow Measurement Engineering Handbook, 2ª Ed., New York, Mc Graw-Hill, 1989, 432p.
- [2] Simpósio Brasileiro de Medição de Vazão, São Paulo, IPT; 1989, 263p.
- [3] MARIANI, Antonio L. C., BAPTISTA, Rui J. C., *Técnicas para Sensoriamento e Aquisição de Dados em Veículos Automotivos*, São Paulo, c1996 – publicação interna.
- [4] NORTON, Harry N., *Handbook of Transducers for Electronic Measuring Systems*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., c1969.
- [5] KUAE, Laura K. N., BONESIO, Maria C. M., VILLELA, Maria C., *Diretrizes para Apresentação de Dissertações e Teses*, Escola Politécnica da USP – Serviço de Bibliotecas, São Paulo - 1991.
- [6] NIVETEC, Instrumentação e Controle Ltda., *Catálogo dos Produtos de Medição e Controle de Nível*.
- [7] IBM, Blue Bird., Manual do Hardware do Computador de Bordo.
- [8] Metroval, Medidores de Engrenagens Ovais - Série OI - Médias e Pequenas Vazões., *Catálogo dos Produtos de Medição de Vazão*.
- [9] PALLÁS- ARENY, Ramón., WEBSTER, John G., *Sensors and Signal Conditioning*, 1ª Ed., New York, John Wiley & Sons, Inc, 1991, 415 p.
- [10] BRANDRUP J., IMMERGUT. E. H., *Polymer Handbook*, 3ª Ed., New York, John Wiley & Sons.
- [11] COSTA NETO, P. L. de O., *Estatística*, 3º reimpressão, São Paulo 1983.

