

**ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**TRABALHO DE  
FORMATURA**

**DISPOSITIVO PARA TESTES DE  
AMORTECEDORES EM VEÍCULOS DE PASSEIO  
PARA INSPEÇÃO VEICULAR**

**AUTORES:**           **Alexandre Martelliti do Amaral**  
                         **Roberto Magnani Lacaze**

**ORIENTADOR:**       **Prof. Omar Moore de Madureira**  
**COORDENADOR:**     **Prof. Dr. Edson Gomes**

*Alexandre Martelliti do Amaral*  
*10,0 (dez)*  
*Bdgj*

## **Agradecimentos**

**Agradecemos em muito ao incentivo e orientação dados pelo Professor  
Omar Moore de Madureira para a realização deste trabalho.**

**Gostaríamos ainda de lembrar por suas valiosas contribuições:**

**John Wilder E.**

**Marcos Garber**

**Além disso agradecemos as seguintes empresas, que nos apoiaram na  
elaboração deste trabalho:**

- COFAP**
- PROMEC**
- MONROE**
- PNEUAC**

# Índice

<b>PARTE I: <u>Estabelecimento da necessidade</u></b>	<b>6</b>
<b>1 - Introdução</b>	<b>7</b>
<b>PARTE II: <u>Definição do Produto</u></b>	<b>10</b>
<b>1 - Objetivos e Requisitos Gerais</b>	<b>11</b>
1.1 - Funções a Desempenhar	
1.2 - Mercados a que se Destina	
1.3 - Prazo para Desenvolvimento e Lançamento	
1.4 - Ciclo de Vida do Produto	
1.5 - Custos	
<b>2 - Especificação Técnica</b>	<b>13</b>
2.1 - Especificações Funcionais	
2.2 - Especificações Operacionais	
2.3 - Especificações Construtivas	
<b>3 - Produto como um Sistema</b>	<b>16</b>

<b>PARTE III: <u>Viabilidade do Projeto</u></b>	<b>17</b>
<b>1 - Concepção das Soluções</b>	<b>18</b>
<b>2 - Análise Técnica</b>	<b>28</b>
<b>3 - Análise Econômica</b>	<b>36</b>
3.1 - Valor Econômico para Comprador e/ou Usuário	
3.2 - Viabilidade Econômica para o Fabricante	
<b>4 - Análise Financeira</b>	<b>45</b>
<b>5 - Conclusão Sobre a Viabilidade do Projeto</b>	<b>46</b>
<b>PARTE IV: <u>Projeto Básico</u></b>	<b>47</b>
<b>1 – Escolha da Melhor Solução</b>	<b>48</b>
<b>2 – Modelagem do Sistema</b>	<b>52</b>
2.1 – Modelo do equipamento de teste	
2.2 – Modelo do veículo a ser testado	
<b>3 – Análise da Sensibilidade</b>	<b>59</b>

<b>4 – Análise da Compatibilidade e Otimização Formal</b>	<b>61</b>
4.1. Compatibilidade Funcional	
4.2. Compatibilidade Geométrica e Otimização Formal	
4.2.1. Dimensionamento do sub-conjunto motor+polia+correia	
4.2.2. Dimensionamento do sub-conjunto mola da base vibratória	
4.2.3. Dimensionamento do Eixo	
4.2.4. Dimensionamento dos Mancais de Rolamento	
4.2.5. Dimensionamento do Camo	
4.2.6. Dimensionamento do Seguidor	
<b>5 – Análise da Estabilidade</b>	<b>70</b>
<b>6 – Tratamento dos Sinais Recebidos pela Célula de Carga e Simulação</b>	<b>71</b>
6.1. Simulação do Sistema	
<b>7 – Conclusão Final</b>	<b>77</b>
<b>8 – Referências Bibliográficas</b>	<b>78</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>79</b>

# **PARTE I**

## **Estabelecimento da Necessidade**

## **1 - Introdução**

Devido à enorme quantidade de veículos em circulação pelo país, e visando um programa que venha a minimizar os efeitos danosos causados pela utilização de veículos em más condições, em Dezembro de 1995 entrou em vigor a Resolução Nº 809, que dispõe sobre a vistoria e a inspeção de veículos.

Assim, o Conselho Nacional de Trânsito - CONTRAN, usando das atribuições que lhe confere, considerou:

- ser da conveniência técnica e administrativa que as vistorias e as inspeções dos veículos obedeçam a critérios e procedimentos uniformes em todo o país;
- que a inspeção de segurança veicular constitua um serviço indispensável à manutenção das características técnicas dos veículos em circulação, verificando sua segurança ativa e passiva e conferindo maior proteção ao meio ambiente através do controle da poluição do ar e da aferição do nível de emissão de ruído;
- que a circulação de veículos em boas condições de segurança seja de fundamental importância para diminuir os riscos e as ocorrências de acidentes de trânsito;
- que seja de grande importância verificar a autenticidade da identificação do veículo e da sua documentação, a legitimidade da propriedade, se os veículos dispõem dos equipamentos obrigatórios, se estes atendem às especificações técnicas e estão em perfeitas condições de funcionamento, se as características originais dos veículos e seus agregados não foram modificados, e se constatada alguma alteração esta tenha sido autorizada, regularizada e constante do prontuário do veículo na repartição de trânsito;

e instituiu, ainda em fase de regulamentação, o Programa de Inspeção Veicular (anexo [1]).

Tal inspeção veicular terá como objetivos a verificação de:

- I – emissões de gases e de ruídos;
- II – sistema elétrico, de iluminação e de sinalização;
- III – sistema de freios;
- IV – sistema de direção;
- V – sistema de suspensão;
- VI – rodas e pneus;
- VII – fechamento das portas, acionamento dos vidros e visibilidade de todas as áreas envidraçadas; e
- VIII – estado geral da carroçaria e da estrutura, quanto a existência de avarias e corrosões.

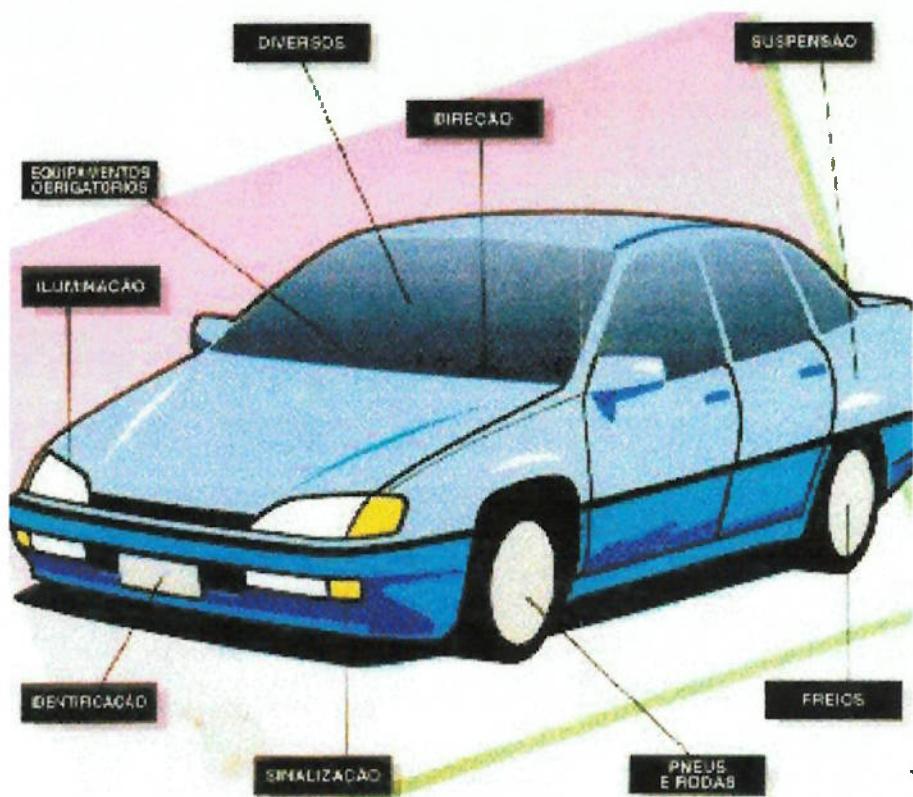


Figura 1: Itens a serem verificados na inspeção veicular

Desta forma, dada a obrigatoriedade na verificação das condições funcionais dos amortecedores, reconhece-se a necessidade da construção de equipamentos que executem os testes.

Considerando que os equipamentos disponíveis no mercado são todos de procedência estrangeira, observa-se a necessidade de desenvolver um equipamento nacional, cujas características funcionais e operacionais sejam adequadas ao uso no Programa de Inspeção Veicular no Brasil.

Observando-se a grande quantidade de itens a serem inspecionados, há a necessidade de estabelecer limites padronizados para a aprovação dos itens mencionados. Visando tal padronização, torna-se necessário a utilização de equipamentos apropriados para cada teste.

Desta forma, este trabalho será dedicado ao projeto de um equipamento para teste de amortecedores em veículos de passeio voltado para a rápida verificação dos testes de forma a tender as exigências do Programa.

## **PARTE II**

### **Definição do Produto**

## **1 - Objetivos e Requisitos Gerais**

### **1.1 - Funções a Desempenhar**

O projeto a ser realizado terá como objetivo o teste dos amortecedores em veículos de passeio visando qualificá-lo como apto ao uso dentro de limites seguros para sua utilização. Tal dispositivo também se restringirá ao teste dos amortecedores no próprio veículo e não do amortecedor isoladamente.

O dispositivo terá como entrada uma perturbação no amortecedor e como saída uma resposta quanto à situação que o amortecedor se encontra para continuar sendo usado com segurança. Por se tratar de uma lei nacional, é importante a padronização da resposta (saída - do dispositivo. Além disso é necessário que o equipamento possa realizar os testes para todas as marcas e modelos de veículos comercializados.

### **1.2 - Mercados a que se Destina**

Tratando-se de uma lei que entrará em vigor, toda a população proprietária de veículos será submetida a tal inspeção e caberá aos Órgãos Executivos de Trânsito dos Estados o gerenciamento e controle dos programas de teste. Os consumidores do dispositivo de teste de amortecedores serão as empresas e/ou consórcios credenciados por tais Órgãos Executivos.

### **1.3 - Prazo para Desenvolvimento e Lançamento**

Os Órgãos competentes realizarão a seleção e contratação direta por processo de concorrência pública das empresas executoras da inspeção. O prazo para o desenvolvimento do produto deverá respeitar a data de aplicação da lei que será a partir de 1999.

#### **1.4 - Ciclo de Vida do Produto**

Enquanto a lei que torna obrigatória a inspeção veicular estiver sendo aplicada, o produto terá sua produção mantida.

Deve-se prever as possibilidades de avanços tecnológicos a serem incorporados no produto a fim de evitar a obsolescência técnica do mesmo.

#### **1.5 - Custos**

Os custos máximos deste projeto são dados na tabela a seguir:

<b>INVESTIMENTOS</b>	<b>PROJETO DESENVOLVIMENTO CERTIFICAÇÃO</b>	R\$ 2.000.000,00
	<b>IMPLEMENTAÇÃO</b>	R\$ 2.000.000,00
<b>CUSTO DE FABRICAÇÃO</b>		R\$ 50.000,00
<b>PREÇO DE VENDA</b>		R\$ 100.000,00

Tabela 1 : Custos do projeto

## **2 - Especificação Técnica**

### **2.1 - Especificações Funcionais**

2.1.1 - Desempenho – Por se tratar de uma inspeção veicular, onde a frequência de veículos é elevada, torna-se necessário que o equipamento realize o teste de acordo com um tempo máximo determinado:

- Tempo máximo de teste : 5 min/veículo.

Também é necessário que a máquina tenha capacidade de excitar com uma onda senoidal a suspensão do veículo dentro de uma dada faixa de limites:

- Limites para a frequência de excitação : 1 a 15 Hz.

O equipamento deve medir e interpretar os valores RMS da aceleração resultante da excitação e/ou da reação dinâmica no solo.

2.1.2 - Estética e Ergonomia – Não é um pré-requisito para o projeto do equipamento que a aparência seja atraente. O operador do dispositivo não deverá exercer esforços superiores a 10 N, pois ele estará submetido à operação do equipamento intensamente durante o seu turno de trabalho. Os comandos para o acionamento do testador de amortecedores deverão estar a um fácil alcance do operador, evitando que o mesmo tenha que se deslocar a grandes distâncias de um ponto central de controle. Também é importante que o equipamento permita que o condutor do veículo não tenha dificuldades em relação ao posicionamento deste para o teste.

2.1.3 - Segurança – Por se tratar de um equipamento que estará sujeito à cargas relativamente pesadas (veículos de passeio - , o mesmo deverá evitar

que tanto o operador quanto o condutor estejam em contato direto com os riscos de falha do equipamento.

2.1.4 - Proteção Ambiental – O Programa de Inspeção Veicular está embasado, além do aspecto de segurança no trânsito, na questão da proteção ambiental. Desta forma, é de grande importância que o equipamento a ser projetado não produza nenhum tipo de resíduo prejudicial ao meio ambiente.

- nível de ruído aceitável : 75 dB (medidos na altura do nível dos ouvidos do operador - ;
- temperatura da parte em contato com o operador : 35°C;
- temperatura máxima do equipamento em uso : 60°C.

## 2.2 - Especificações Operacionais

2.2.1 - Consumo de Energia – O consumo máximo de energia para o equipamento está apresentado a seguir:

70 HP = 52,2 kW

Considerando um turno de trabalho de 8 h/dia de 20 dias/mês, temos:

- consumo de energia em um mês:  $52,2 \times 8 \times 20 = 8352 \text{ kW.h}$

2.2.2 - Confiabilidade – O equipamento deverá funcionar por um período de um ano sem apresentar falhas, que interrompam a sua operação.

2.2.3 - Mantenabilidade – Serão previstas manutenções preventivas nas peças constituintes do equipamento a cada dois meses de uso.

**2.2.4 - Durabilidade** – O equipamento terá uma vida útil de dez anos com possibilidades de atualizações tecnológicas no decorrer deste período.

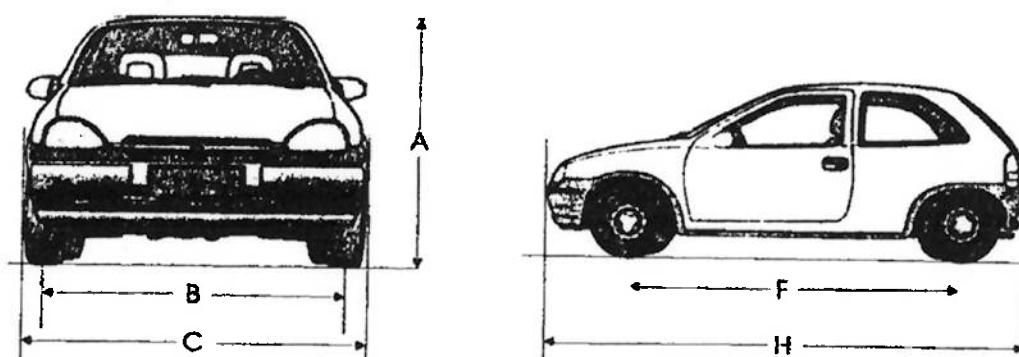
### **2.3 - Especificações Construtivas**

#### **2.3.1 - Dimensões máximas do equipamento:**

- comprimento: 7,0 m;
- largura: 4,0 m;
- altura: 4,0 m;
- massa: 5000 kg.

#### **2.3.2 - Dimensões dos veículos a serem testados:**

- comprimento máximo: 6,0m (cota H);
- largura máxima: 2,0m (cota C);
- altura máxima: 2,0m (cota A);
- largura entre as rodas: de 1,5 até 1,8m (cota B);
- distância entre eixos: de 2,0 até 4,5m (cota F);
- massa: de 500 até 2500kg.



**Figura 2 : Dimensões dos veículos**

### 3 - Produto como um Sistema

O dispositivo terá como entrada uma perturbação no amortecedor, podendo ser esta senoidal, degrau, rampa, impulso, ou aleatória. Como saída do sistema (carro+equipamento - será fornecida uma resposta quanto à situação que o amortecedor se encontra para continuar sendo usado com segurança. A resposta será do tipo aceitável ou não aceitável, e será determinada pela análise das curvas de ressonância de amplitude do amortecedor ou por outras curvas características como por exemplo: Força x Velocidade, Força x Deslocamento, etc.

(vide anexo [II])

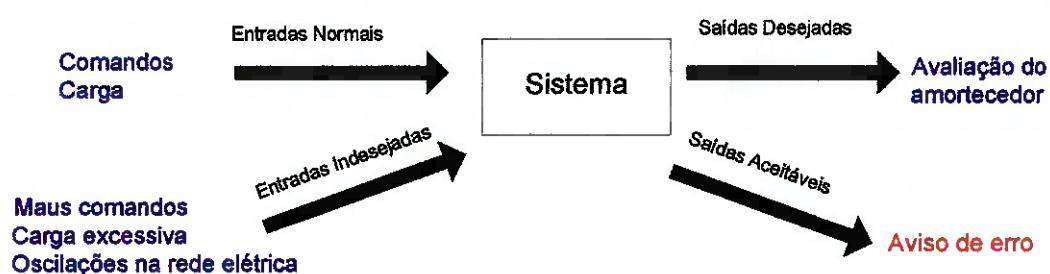


Figura 3: O Produto como um Sistema

# **PARTE III**

## **Viabilidade do Projeto**

## **1 - Concepção das Soluções**

Funções	Soluções			
<b>Suportar</b>	<b>uma roda por vez</b>		<b>um eixo por vez</b>	<b>dois eixos simultaneamente</b>
<b>Excitar</b>	<b>Vibratório:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Motor elétrico</li> <li>• camo</li> <li>• barras articuladas</li> </ul>	<b>Vibratório:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Motor elétrico</li> <li>• compressor</li> <li>• pistão hidráulico</li> <li>• barras articuladas</li> </ul>	<b>Tombo:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Motor elétrico</li> <li>• compressor</li> <li>• pistão hidráulico</li> <li>• plataforma elevatória</li> </ul>	<b>Manual:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Impulso dado pelo operador</li> </ul>
<b>Medir</b>	<b>Acelerômetro</b>		<b>Célula de Carga</b>	<b>Pincel marcador</b>
<b>Comparar / Analisar</b>	<b>Sistema de aquisição com banco de dados para veículos</b>		<b>Disco giratório com tabela de amplitudes</b>	
<b>Apresentar</b>	<b>Sinal aprovando ou reprovando o amortecedor (luz verde , luz vermelha)</b>			

Tabela 2 : Concepção de soluções

De acordo com a Tabela-2, formulou-se soluções para cada uma das funções que o equipamento a ser projetado deve desempenhar. Abaixo, encontra-se uma descrição das soluções apresentadas na Tabela-2.

## **1<sup>a</sup> Função: Suportar**

O veículo subirá em uma plataforma posicionando suas rodas em bases que realizarão os testes, podendo ser constituída por:

- a - Duas bases, nas quais será analisado primeiramente o eixo dianteiro, uma roda de cada vez. Após isso o veículo se movimentará posicionando as rodas do eixo traseiro para uma análise de cada amortecedor individualmente.
- b - Duas bases. Primeiramente será realizado o teste nas duas rodas do eixo dianteiro simultaneamente. Depois, o veículo deverá se movimentar posicionando o eixo traseiro para o teste simultâneo das duas rodas.
- c - Quatro bases. O veículo subirá por completo em uma plataforma e cada amortecedor será testado individualmente, sem necessidade do veículo se movimentar no meio do teste.

## **2<sup>a</sup> Função: Excitar**

- a - Vibratória. O motor elétrico transmite torque para um camo produzindo um movimento rotatório. Existe uma barra articulada ao camo que recebendo o movimento do mesmo, irá oscilar senoidalmente na direção vertical exercendo um esforço sobre a base onde está apoiado o pneu do veículo.
- b - Vibratória. Neste caso a vibração será produzida por um pistão hidráulico, ligado a um motor elétrico, uma bomba hidráulica e uma servo válvula. O pistão hidráulico realizará movimentos oscilatórios. Articulada neste pistão haverá uma barra que fornecerá o movimento oscilatório para a base onde a roda está apoiada. Esta solução permite como entrada diversos tipos de perturbação (senoidal, degrau, impulso, rampa, etc.).

c - Tombo. Uma plataforma sustentará o veículo e o soltará de repente aplicando assim um impulso na suspensão. O acionamento da plataforma será por meio de um sistema composto por motor elétrico bomba hidráulica, servo válvula e pistão hidráulico.

d - Manual. O operador produzirá manualmente uma perturbação pressionando o veículo verticalmente para baixo e soltando-o em seguida.

### **3<sup>a</sup> Função: Medir**

a - Acelerômetro. Um acelerômetro será ligado à massa suspensa do veículo, e fará a leitura RMS da aceleração.

b - Célula de Carga. Uma célula de carga fará a leitura da reação dinâmica no solo.

c - Pincel marcador. Um pincel marcador ligado a massa suspensa do veículo, registrará em um disco giratório de papel, o gráfico da Amplitude da Vibração pelo Tempo.

### **4<sup>a</sup> Função: Comparar / Analisar**

a - A leitura será transmitida para um sistema de aquisição onde será analisada e comparada com um banco de dados que contém as informações necessárias da frota de veículos comercializados.

b - O operador analisará a leitura da amplitude registrada no disco giratório comparando-a com uma tabela que contém a faixa de amplitudes aceitáveis para cada modelo de veículo.

#### **5<sup>a</sup> Função: Apresentar**

A resposta quanto a situação em que o amortecedor se encontra será apresentada na forma de um sinal, reprovando ou aprovando o amortecedor através de uma luz vermelha ou verde, respectivamente. Além disso, a avaliação do amortecedor será transmitida para uma impressora e registrada em papel, para comprovação do teste de inspeção veicular.

O agrupamento das soluções para cada uma das funções expostas acima, possibilitou a concepção de três soluções convenientes para este projeto. Tais soluções são apresentadas a seguir.

### 1<sup>a</sup> Solução:

O dispositivo realizará o teste primeiramente do eixo dianteiro do veículo. Após isso, o veículo deverá se movimentar posicionando o eixo traseiro para teste. Desta forma, esse dispositivo deverá ser composto por duas bases vibratórias independentes, onde serão apoiadas as rodas do eixo a ser testado. Cada uma das bases serão constituídas por um mecanismo responsável pela excitação da suspensão. Esse mecanismo será composto por um camo, acionado por um motor elétrico, ligado à barras articuladas e uma alavanca, de forma a fornecer a força necessária para o movimento oscilatório da base onde estará apoiada a roda do veículo. (Figura-4)

Para a realização da medida do movimento oscilatório do sistema, pode-se dividir a solução em duas versões:

- Versão 1 - Um acelerômetro ligado à massa suspensa do veículo fará a leitura RMS da aceleração.
- Versão 2 - Uma célula de carga ligada à base vibratória, onde a roda do veículo está apoiada, fará a leitura da reação dinâmica no solo.

Para ambas as versões acima, teremos um sistema de aquisição onde a leitura será analisada e comparada com um banco de dados que contém as informações necessárias da frota de veículos comercializados. Finalmente, a resposta quanto a situação em que o amortecedor se encontra será apresentada na forma de uma luz vermelha ou verde, reprovando ou aprovando o amortecedor. Além disso, a avaliação do amortecedor será transmitida para uma impressora e registrada em papel, para comprovação do teste de inspeção veicular.

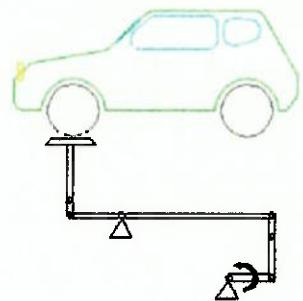
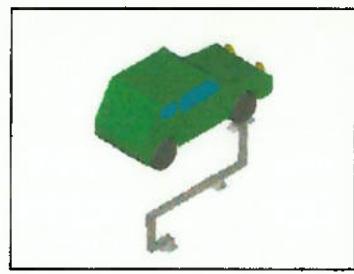


Figura 4 : 1<sup>a</sup> Solução

## 2<sup>a</sup> Solução:

De forma análoga à solução anterior, o dispositivo será constituído por duas bases vibratórias, onde, em cada uma delas será apoiada uma roda do eixo a ser testado. Assim, esse dispositivo realizará o teste em um eixo por vez, necessitando, assim, da movimentação do veículo na metade do teste. O movimento vibratório aplicado à suspensão será fornecido por um sistema composto por motor elétrico, bomba hidráulica, servo válvula, pistão hidráulico, barras articuladas e uma alavanca, de forma a fornecer a força necessária para o movimento oscilatório da base onde estará apoiada a roda do veículo. (Figura-4)

Também pode-se dividir esta solução em duas versões, quanto a realização da medida do movimento oscilatório do sistema:

- Versão 1 - Um acelerômetro ligado à massa suspensa do veículo fará a leitura RMS da aceleração.
- Versão 2 - Uma célula de carga ligada à base vibratória, onde a roda do veículo está apoiada, fará a leitura da reação dinâmica no solo.

Da mesma forma que a solução apresentada anteriormente, teremos, para ambas as versões acima, um sistema de aquisição onde a leitura será analisada e comparada com um banco de dados que contém as informações necessárias da frota de veículos comercializados. A resposta quanto a situação em que o amortecedor se encontra será apresentada na forma de um sinal, reprovando ou aprovando o amortecedor através de uma luz vermelha ou verde, respectivamente. A avaliação do amortecedor será transmitida para uma impressora e registrada em papel, para comprovação do teste de inspeção veicular.

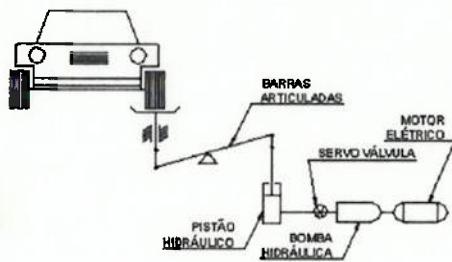
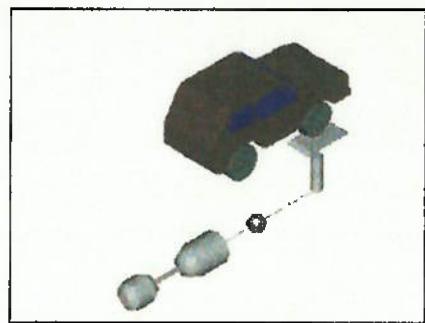


Figura 5 : 2<sup>a</sup> Solução

### 3<sup>a</sup> Solução:

Esse dispositivo realizará o teste primeiramente do eixo dianteiro do veículo, as duas rodas de uma só vez. Após isso, o veículo deverá se movimentar posicionando o eixo traseiro para o teste. Dessa forma, o dispositivo será composto por duas bases, onde em cada uma delas ficará apoiada uma das rodas do eixo a ser testado. Cada uma das bases será constituída por um motor elétrico, ligado a uma bomba hidráulica, uma serva válvula e barras articuladas, de forma a fornecer a força necessária para sustentar o veículo. Através do acionamento do operador, a base irá abaixar instantaneamente fazendo com que a suspensão do veículo receba um impulso ao entrar em contato com o solo (Figura-5).

Para a realização da medida do movimento oscilatório da suspensão o equipamento terá de uma célula de carga ligada à base de tombo, onde a roda do veículo sofrerá o impacto da queda. Dessa forma, o sensor fará a leitura da reação dinâmica no solo.

Um sistema de aquisição analisará a leitura realizada pela célula de carga e comparará com um banco de dados que contém as informações necessárias da frota de veículos comercializados. Finalmente, a resposta quanto a situação em que o amortecedor se encontra será apresentada na forma de uma luz vermelha ou verde, reprovando ou aprovando o amortecedor. Além disso, a avaliação do amortecedor será transmitida para uma impressora e registrada em papel, para comprovação do teste de inspeção veicular.

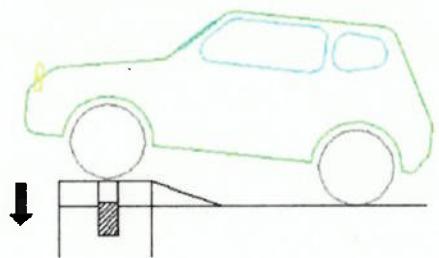
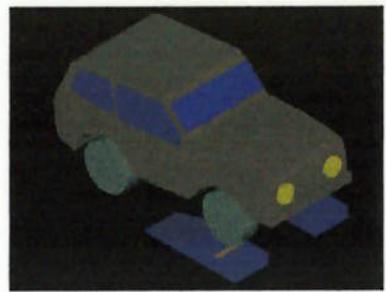


Figura 6 - 3<sup>a</sup> Solução.

## **2 - Análise Técnica**

Símbolos adotados :

c – comprimento do camo [mm]

$d_e$  – diâmetro do êmbolo [mm]

$d_h$  – diâmetro da haste [mm]

$F_0$  – Carga máxima aplicada ao equipamento [N]

F – Força no pistão / Força no mecanismo biela/manivela [N]

T – Torque [N.m]

Pot – potência [W]

l – comprimento genérico das barras articuladas [m]

$l_0$  – comprimento da haste vibratória [mm]

$S_e$  – área do êmbolo [mm]

$P_T$  – pressão de trabalho [bar]

w – rotação [rpm]

f – freqüência [Hz]

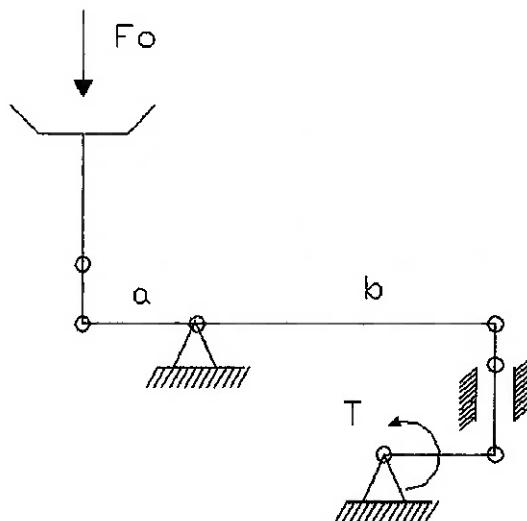
v – velocidade do atuador hidráulico [m/s]

$P_B$  – pressão da bomba [bar]

$Q_b$  – vazão da bomba [l / min]

$\Delta v$  = deslocamento volumétrico [ $\text{cm}^3$  / rot ]

**1<sup>a</sup> Solução**



$$F_o = 7500\text{N}$$

$$F_o \cdot a = F \cdot b \Rightarrow F = F_o * \frac{a}{b}$$

$$\frac{l_o}{a} = \frac{l}{b} \Rightarrow l = l_o * \frac{b}{a} ; \quad l = 2 \cdot c \Rightarrow c = \frac{l_o * b}{2 * a}$$

$$T = F \cdot c$$

$$Pot = T \cdot w$$

$$\text{Portanto: } T = F_o * \frac{a * c}{b} = \frac{Pot}{w}$$

$$\text{Amplitude de vibração: } 50\text{mm} \Rightarrow l_o = 100\text{mm}$$

$$\text{Sabe-se que: } b \geq a$$

Calculando-se pior caso:       $a = b$ , tem-se:

$$\Rightarrow c = 50\text{mm}$$

$$\frac{Pot}{w} = 375 \text{ N.m}$$

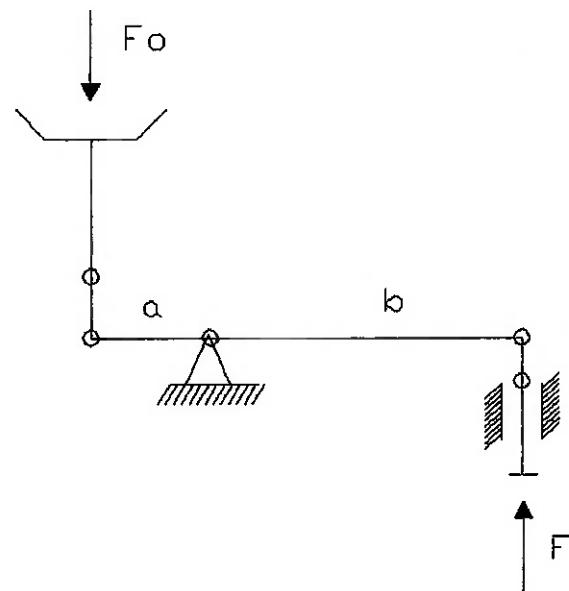
Motor: AC

4 pólos

w = 1750 rpm

Pot = 10,9 kW = 14,7 HP  $\Rightarrow$  15 HP

2<sup>a</sup> Solução



$$F_o = 7500 \text{ N}$$

$$F_o \cdot a = F \cdot b \Rightarrow F = F_o * \frac{a}{b}$$

$$\frac{l_o}{a} = \frac{l}{b} \Rightarrow l = l_o * \frac{b}{a}$$

$$\text{Amplitude de vibração: } 50 \text{ mm} \Rightarrow l_o = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Sabe-se que: } b \geq a$$

$$\text{Calculando-se pior caso: } a = b, \text{ tem-se:}$$

$$f = 15 \text{ Hz} \quad f \cdot l = v \Rightarrow v_{\max} = 15 * 0,1 * \sqrt{2} * 60 = 127,3 \text{ m/min}$$

adotando:

$P_t = 100 \text{ bar}$

**Área do êmbolo:**

$$S_e = \frac{F}{P_t} = \frac{\pi * d_e^2}{4} \Rightarrow d_e = 31\text{mm}$$

Adotando:  $d_e = 1\text{'' } \frac{1}{2} = 38,1\text{mm}$

**Curso = 100 . 1,2 = 120mm**

Temos:

$$P_t = 65,8 \text{ bar}$$

**Cálculo à Flambagem:**

Modelo:  $L_e = 2 L$

$$K = \frac{\pi^2 * E * J}{L_e^2}, \quad \text{onde } J = \frac{\pi * d^4}{64}$$

Diâmetro da Haste:  $d_h \geq 0,177 \sqrt[4]{K * L_e^2}$

No caso:  $K = 7500 \text{ N} = 750 \text{ kgf}$

$$L_e = 240\text{mm}$$

$$d_h > 14,3\text{mm}$$

com um coeficiente de segurança de 3, tem-se:  $d_h = 18,9\text{mm}$

**Escolha da Bomba:**

**Bomba de Engrenagens**

**[vide anexo III]**

$$P_{\text{bomba}} > 1,3 * P_t \quad P_b > 85,6 \text{ bar}$$

Vazão:  $Q_b = A_e * (\text{vel. avanço}) \text{ [L/min]}$

$$Q_b = 145,1 \text{ L/min}$$

Motor:      AC  
                4 pólos  
                1750 rpm

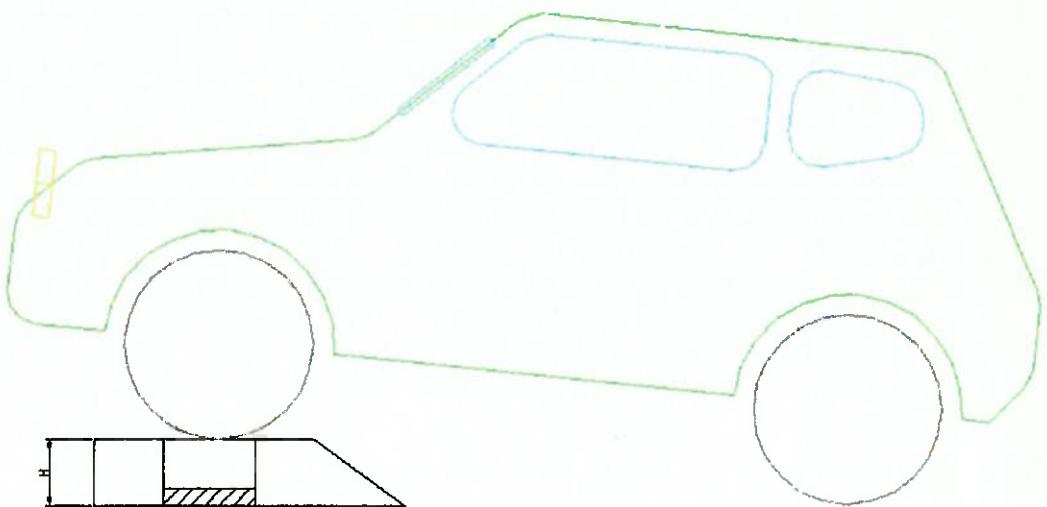
(vide anexo [IV])

$$\Delta v = \frac{Q_b}{n} \Rightarrow \Delta v = 83 \text{ cm}^3/\text{rot}$$

$$\Delta v_{nominal} = \Delta v * 1,3 = 108 \text{ cm}^3/\text{rot}$$

Potência:      Pot = Q<sub>b</sub> . P<sub>b</sub>  
                    Pot = 20,5 kW = 28 HP     $\Rightarrow$     **30 HP**

### 3<sup>a</sup> Solução



$$\text{Altura de tombo: } H = 0,2 \text{ m}$$

$$v^2 = 2.g.H$$

$$\text{Portanto: } v = 2 \text{ m/s}$$

Analogamente ao cálculo realizado para a solução anterior, temos:

$$P_{\text{bomba}} > 85,6 \text{ bar}$$

$$\text{Vazão de retorno: } Q_b = 12730 \text{ cm/min} * \frac{\pi * (3,81 - 1,89)^2}{4}$$

$$\Rightarrow Q_b = 36,8 \text{ L/min} = 6,14 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

Motor: AC  
4 pólos  
1750 rpm

$$\text{Pot} = Q_b \cdot P_b$$

$$\text{Pot} = 5,3 \text{ kW} = 7,1 \text{ HP} \Rightarrow 7,5 \text{ HP}$$

### **3 - Análise Econômica**

#### **3.1 – Custo de Aquisição dos Componentes para cada Solução**

##### **3.1.1 – 1<sup>a</sup> Solução**

**Versão 1 : com acelerômetro**

SUBSISTEMA	QUANT.	CUSTO TOTAL (R\$)
motor elétrico 15 HP	2	1.000,00
estrutura metálica (barras articuladas, base vibratória, junções, mancais)	2	5.000,00
acelerômetro	2	500,00
Sistema de aquisição de dados e apresentação de resultados (CPU, teclado, monitor, impressora, placa AD/DA)	1	4.500,00
Software	1	30.000,00
<b>TOTAL</b>		<b>41.000,00</b>

**Versão 2 : com célula de carga**

SUBSISTEMA	QUANT.	CUSTO TOTAL (R\$)
motor elétrico 15 HP	2	1.000,00
estrutura metálica (barras articuladas, base vibratória, junções, mancais)	2	5.000,00
célula de carga	2	400,00
Sistema de aquisição de dados e apresentação de resultados (CPU, teclado, monitor, impressora, placa AD/DA)	1	4.500,00
Software	1	30.000,00
<b>TOTAL</b>		<b>40.900,00</b>

### **3.1.2 – 2<sup>a</sup> Solução**

#### **Versão 1 : com acelerômetro**

SUBSISTEMA	QUANT.	CUSTO (R\$)
motor elétrico 30 HP	2	2.400,00
bomba hidráulica de engrenagens	2	2.000,00
servo-válvula	2	1.200,00
pistão hidráulico	2	1.400,00
estrutura metálica (barras articuladas, base vibratória, junções, mancais)	2	3.500,00
acelerômetro	2	500,00
Sistema de aquisição de dados e apresentação de resultados (CPU, teclado, monitor, impressora, placa AD/DA)	1	4.500,00
Software	1	30.000,00
<b>TOTAL</b>		<b>45.500,00</b>

**Versão 2 : com célula de carga**

SUBSISTEMA	QUANT.	CUSTO (R\$)
motor elétrico 30 HP	2	2.400,00
bomba hidráulica de engrenagens	2	2.000,00
servo-válvula	2	1.200,00
pistão hidráulico	2	1.400,00
estrutura metálica (barras articuladas, base vibratória, junções, mancais)	2	3.500,00
célula de carga	2	400,00
Sistema de aquisição de dados e apresentação de resultados (CPU, teclado, monitor, impressora, placa AD/DA)	1	4.500,00
Software	1	30.000,00
<b>TOTAL</b>		<b>45.400,00</b>

### 3.1.3 – 3<sup>a</sup> Solução

SUBSISTEMA	QUANT.	CUSTO (R\$)
motor elétrico 7,5 HP	2	700,00
bomba hidráulica de engrenagens	2	1.500,00
servo-válvula	2	1.200,00
pistão hidráulico	2	1.400,00
estrutura metálica (base vibratória, mancais)	2	1.000,00
célula de carga	2	400,00
Sistema de aquisição de dados e apresentação de resultados (CPU, teclado, monitor, impressora, placa AD/DA)	1	4.500,00
Software	1	30.000,00
<b>TOTAL</b>		<b>40.700,00</b>

### 3.2 - Análise Econômica para o Fabricante

Para se formalizar o preço de venda final do produto (V), serão levados em conta os custos de aquisição dos componentes (C), os custos de mão de obra (M), os custos de distribuição (D), custos de instalação e treinamento (T), o lucro líquido (L) e impostos (I). Assim, temos :

$$V = (C + M + D + T + L) \cdot I$$

Considerou-se :

- $M = 0,12 \cdot C;$
- $D = 0,06 \cdot C;$
- $T = 0,10 \cdot C;$
- $L = 0,06 \cdot C;$
- $I = 12\%.$

Portanto o preço final será :  $V = 1,5 \cdot C$

Soluções		Preço Final, V (R\$)
1 <sup>a</sup> Solução	Versão 1	61.500,00
	Versão 2	61.350,00
2 <sup>a</sup> Solução	Versão 1	68.250,00
	Versão 2	68.100,00
3 <sup>a</sup> Solução		61.050,00

### **3.3 - Análise Econômica para o Consumidor / Usuário**

No ponto de vista do usuário do produto é interessante calcular em quanto tempo o investimento inicial da compra do equipamento será amortizado. Para isso, vamos estimar um lucro líquido padrão que será obtido pelo serviço de inspeção de amortecedores no veículo.

**Lucro líquido por veículo (L) = R\$ 3,00.**

Estimando-se que a cada vinte minutos se realiza um serviço de inspeção de amortecedores, num turno de 8h / dia, 20 dias / mês, 12 meses / ano, teremos : 5760 serviços / ano.

Portanto o lucro anual (A) será de : R\$ 17.280,00

Utilizando a seguinte fórmula para o cálculo do número de anos para o investimento ser amortizado :

$n = \log(A / (A - P \cdot t)) / \log(1 + t)$ , onde :

A = lucro líquido por ano da inspeção de amortecedores; (R\$)

P = investimento inicial na aquisição do produto; (R\$)

t = taxa de oportunidade (t = 12 % a.a.);

n = tempo de amortização; (anos)

- 1<sup>a</sup> Solução :

#### Versão 1:

A = R\$ 17.280,00

P = R\$ 61.500,00

t = 12 % a.a.

Portanto, temos :  $n = 4,9$  anos.

Versão 2:

$$A = R\$ 17.280,00$$

$$P = R\$ 61.350,00$$

$$t = 12 \% \text{ a.a.}$$

Portanto, temos também:  $n = 4,9$  anos.

- 2<sup>a</sup> Solução :

Versão 1:

$$A = R\$ 17.280,00$$

$$P = R\$ 68.250,00$$

$$t = 12 \% \text{ a.a.}$$

Portanto, temos :  $n = 5,7$  anos.

Versão 2:

$$A = R\$ 17.280,00$$

$$P = R\$ 68.100,00$$

$$t = 12 \% \text{ a.a.}$$

Portanto, temos também:  $n = 5,6$  anos.

- 3<sup>a</sup> Solução :

$$A = R\$ 17.280,00$$

$$P = R\$ 61.050,00$$

$$t = 12 \% \text{ a.a.}$$

Portanto, temos :  $n = 4,8$  anos.

Assim, tendo-se em vista que a vida útil desejada para o equipamento é de dez anos, é razoável considerar um tempo máximo de amortização de 6 anos para o investimento. Pode-se então concluir que todas as soluções acima são viáveis economicamente.

#### **4 - Análise Financeira**

A maior parte dos componentes que constituem o equipamento nas três soluções que estão sendo analisadas será comprada por fornecedores externos. Portanto, não se torna necessário investimentos elevados para a fabricação destes componentes. O fabricante terá gastos maiores na montagem do dispositivo a partir das peças compradas de terceiros. A montagem por sua vez, não necessitará de muita maquinaria. A estrutura metálica que compõe as soluções é de fácil fabricação e usinagem, utilizando máquinas simples existentes no mercado.

Do exposto acima, conclui-se que o projeto é viável financeiramente.

## **5 - Conclusão Sobre a Viabilidade do Projeto**

As três soluções analisadas no Estudo de Viabilidade do Projeto, mostraram-se viáveis tanto tecnicamente, quanto economicamente e financeiramente.

Portanto levaremos adiante para o Projeto Básico estas três soluções onde escolheremos a melhor através de uma Matriz de Decisão.

## **PARTE IV**

### **Projeto Básico**

## **1 – Escolha da melhor solução**

Através do Estudo de Viabilidade resultaram três soluções possíveis onde a primeira e a segunda soluções apresentavam duas versões (acelerômetro ou célula de carga). Neste item, selecionaremos a melhor dentre as soluções acima.

Os critérios utilizados para a escolha da melhor solução foram:

- **investimento necessário** : Investimento necessário para a implantação do projeto. As maiores notas foram dadas para as soluções de menor investimento.
- **custo de fabricação** : Gastos devidos à fabricação dos componentes necessários para viabilização do projeto. Novamente as maiores notas se referem às soluções com menores custos de fabricação.
- **tempo de teste** : Tempo total necessário para a realização do teste de amortecedores. As melhores soluções apresentam os tempos mais rápidos de teste.
- **precisão de teste** : Eficácia do resultado apresentado. A boa solução deve apresentar o estado real do amortecedor , rejeitando-o quando este não estiver em condições adequadas.
- **segurança** : A solução não deve apresentar riscos ao operador do teste nem ao condutor do veículo.
- **estética e ergonomia** : A solução deve apresentar uma aparência estética que sugira confiança no consumidor e deve ser ergonômica de forma a facilitar o trabalho do operador.

- **consumo de energia** : Gastos com energia elétrica.
- **confiabilidade** : O equipamento deve funcionar por um maior período possível de tempo sem apresentar falhas.
- **manutenabilidade** : A solução não deve exigir muitos gastos com manutenções.
- **durabilidade** : Tempo de vida útil da solução considerando os componentes constituintes do equipamento.
- **utilização de componentes padrão** : É importante que a solução seja composta por um maior número de componentes padronizados de forma a facilitar tanto a aquisição quanto a manutenção.

As Tabelas 3 e 4, apresentadas a seguir, mostram a avaliação completa das soluções.

ATTRIBUTO	Solução 1		Solução 2		Solução 3
	versão 1	versão 2	versão 1	versão 2	
	nota	nota	nota	nota	nota
investimento necessário	8	8	5	5	9
custo de fabricação	7	6	7	6	7
tempo de teste	5	7	5	7	7
precisão do teste	8	9	8	9	5
segurança	9	9	9	9	8
estética e ergonomia	5	6	6	7	7
consumo de energia	6	6	6	6	8
confiabilidade	8	8	7	7	7
mantenabilidade	8	8	6	6	6
durabilidade	7	7	6	6	7
utilização de componentes padrão	7	7	8	8	8

Tabela 3. Matriz de decisão ( notas )

ATTRIBUTO	PESO (P)	Solução 1		Solução 2		Solução 3
		versão 1	versão 2	versão 1	versão 2	
		nota X P	nota X P	nota X P	nota X P	nota X P
investimento necessário	0,13	1,04	1,04	0,65	0,65	1,17
custo de fabricação	0,10	0,7	0,6	0,7	0,6	0,7
tempo de teste	0,12	0,6	0,84	0,6	0,84	0,84
precisão de teste	0,12	0,96	1,08	0,96	1,08	0,6
segurança	0,12	1,08	1,08	1,08	1,08	0,96
estética e ergonomia	0,02	0,1	0,12	0,12	0,14	0,14
consumo de energia	0,12	0,72	0,72	0,72	0,72	0,96
confiabilidade	0,05	0,4	0,4	0,35	0,35	0,35
mantenabilidade	0,04	0,32	0,32	0,24	0,24	0,24
durabilidade	0,08	0,56	0,56	0,48	0,48	0,56
utilização de componentes padrão	0,10	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8
SOMA	1,00	7,18	7,46	6,70	6,98	7,32

Tabela 4. Matriz de decisão ( nota ponderada )

Conclusão: Para a fase de Projeto Básico será adotada a Solução 1 (versão 2) que utiliza um mecanismo composto por camo e barras articuladas de forma a fornecer uma excitação oscilatória à suspensão do veículo e realiza a medida através de uma célula de carga.

## **2 – Modelagem do Sistema**

### **2.1 – Modelo do equipamento de teste**

De acordo com a solução selecionada na fase anterior construimos o modelo físico e matemático de nosso sistema. A figura 10 mostra esquematicamente o modelo que será adotado para o equacionamento de cada elemento constituinte de nossa máquina.

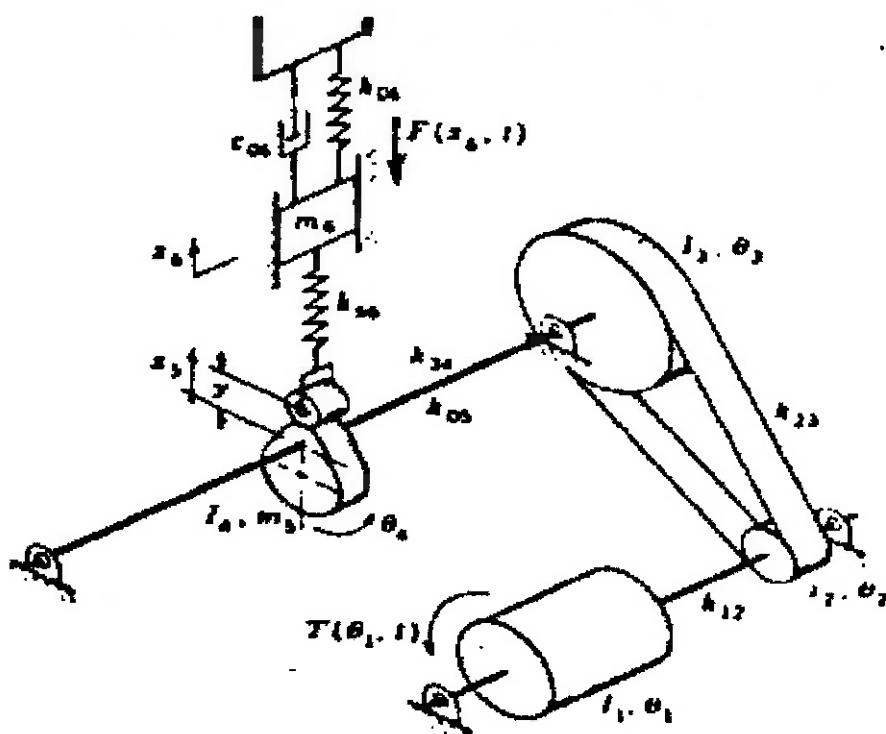


Figura 10 – Modelo Físico do Equipamento de teste

Analisando nosso modelo, temos um sistema de camos impulsionado por um motor, com torque de entrada  $T=T(\theta_1, t)$  e força de saída exercida no seguidor  $F=F(x_6, t)$ . Com exceção das perdas por atrito, a carga primária do motor é a força de saída  $F$  com que o camo impulsiona o seguidor.

Para construirmos nosso modelo matemático dividimos nosso sistema em dois subsistemas um rotativo (a) e o outro linear (b) mostrados na figura 11. Foram inclusos dois amortecedores de coeficientes  $c_{01}$  e  $c_{03}$  prevendo as perdas por atrito nos mancais e as perdas na transmissão por correia. O torque de saída  $T = T(\theta_4, t)$  é devido à força exercida pelo rolete sobre a camo.

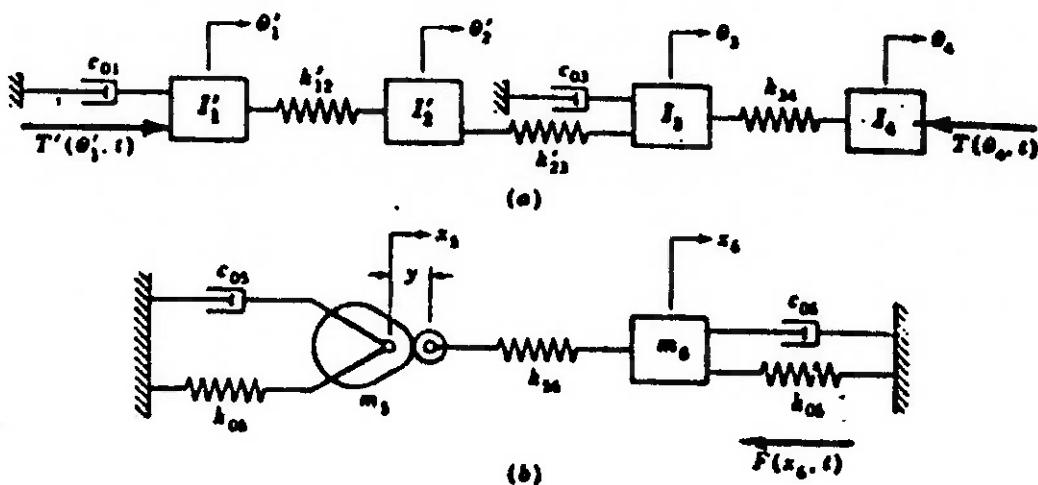


Figura 11 – Subsistemas : rotativo (a) ; linear (b)

Podemos escrever as equações do movimento do subsistema rotativo (fig.11a) supondo que  $\theta_1' > \theta_2' > \theta_3 > \theta_4$  e que  $\theta_1'$  e  $\theta_2'$  sejam ambos positivos. Somando as forças em cada elemento tem-se:

$$T(\theta_1', t) - c_{01}\dot{\theta}_1 - k_{12}(\theta_1 - \theta_2) - I_1\ddot{\theta}_1 = 0$$

$$k_{12}(\theta_1 - \theta_2) - k_{23}(\theta_2 - \theta_3) - I_2\ddot{\theta}_2 = 0$$

$$k_{23}(\theta_2 - \theta_3) - c_{03}\dot{\theta}_3 - k_{34}(\theta_3 - \theta_4) - I_3\ddot{\theta}_3 = 0$$

$$k_{34}(\theta_3 - \theta_4) - T(\theta_4, t) - I_4\ddot{\theta}_4 = 0$$

Para analisarmos o subsistema linear (fig. 11b) calculamos a rigidez equivalente das três molas em série, que é:

$$k = \frac{k_{06} k_{56} k_{06}}{k_{56} k_{06} + k_{05} k_{06} + k_{05} k_{56}}$$

A compressão em cada mola é :

$$\delta_{05} = \frac{P}{k_{05}}$$

$$\delta_{56} = \frac{P}{k_{56}}$$

$$\delta_{06} = \frac{P}{k_{06}}$$

Podemos escrever as equações do movimento de cada massa somando-se as forças externas com as forças de D'Alembert. Assim, para  $m_5$  e  $m_6$ , temos:

$$P - c_{05} \ddot{x}_5 - k_{05} x_5 - F - m_5 \ddot{x}_5 = 0$$

$$F - k_{06} x_6 - c_{06} \ddot{x}_6 - P - F(x_6, t) - m_6 \ddot{x}_6 = 0$$

Estas equações constituem o modelo matemático geral. Foi desprezada, nestas equações, a força cortante.

Para o movimento na direção y dado pelo camo, escolhe-se a equação:

$$y = y_0 - y_0 \cos \theta_4 t$$

que é um movimento harmônico sem paradas. No estudo da dinâmica de camos, mostra-se que o torque relativo à força de contato do rolete é:

$$T = \frac{\dot{y}}{\dot{\theta}} F$$

onde  $\theta$  é a velocidade angular da camo. Temos então:

$$\dot{y} = y_o \dot{\theta}_4 \operatorname{sen} \dot{\theta}_4 t$$

ou

$$\frac{\dot{y}}{\dot{\theta}_4} = y_o \operatorname{sen} \dot{\theta}_4 t = y_o \operatorname{sen} \theta_4$$

Logo, pode-se calcular o termo necessário para a quarta equação do conjunto durante o processo de integração desta equação,

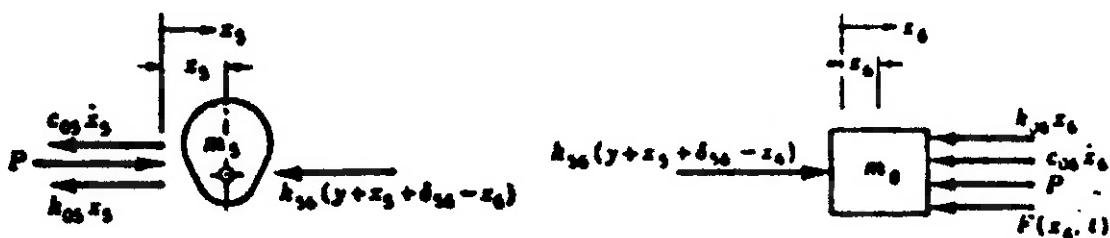


Figura 12 – Forças externas atuando no camo e na roda.

$$T(\theta_4, t) = F y_o \operatorname{sen} \theta$$

A força de saída  $F(x_6, t)$ , depende do sistema físico e da função realizada pelo seguidor. Em um problema teórico pode-se utilizar a função:

$$F(x_6, t) = C \cdot \dot{x}_6^2$$

## 2.2 – Modelo do veículo a ser testado

O esquema abaixo constitui um modelo relativamente simples para a suspensão de um veículo. É denominado modelo de  $\frac{1}{4}$  de carro.

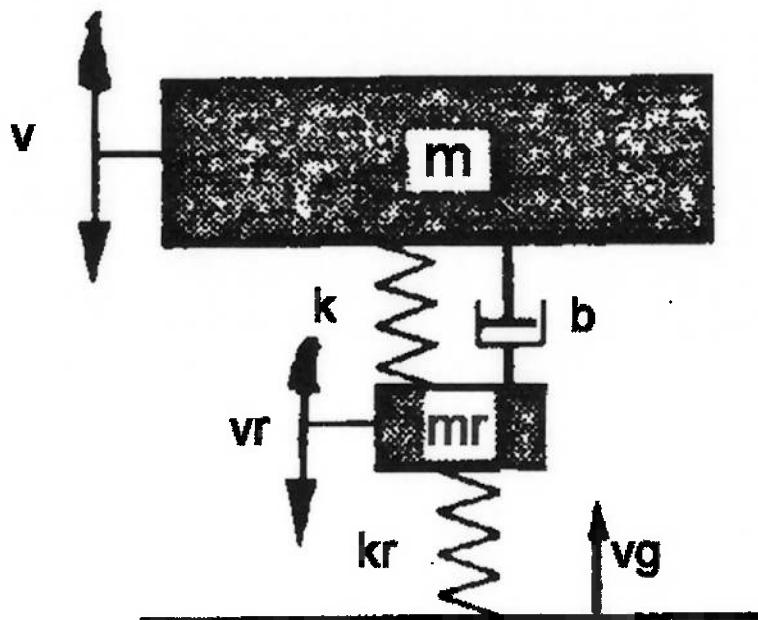


Figura 13 – Modelo Físico de  $\frac{1}{4}$  de veículo

Equações de estado:

$$\dot{y} = v_r - v$$

$$\dot{y}_r = v_g - v_r$$

$$m \cdot \ddot{v} = k \cdot y + b(v_r - v)$$

$$m_r \ddot{v}_r = -k \cdot y - b(v_r - v) + k_r y_r$$

Definindo como:  
 saídas:  $x$ ,  $x_r$   
 entrada:  $z$

$$\dot{x}_r = v_r$$

$$\dot{z} = v_g$$

As funções de transferência entre  $x$  e  $z$  e entre  $x_r$  e  $z$  são obtidas como se segue:

Substituindo as definições de  $x$ ,  $x_r$  e  $z$  nas equações de estado, tem-se:

$$m\ddot{x} = k(x_r - x) + b(\dot{x}_r - \dot{x})$$

$$m_r\ddot{x}_r = -k(x_r - x) - b(\dot{x}_r - \dot{x}) + k_r(z - x_r)$$

Aplicando a Transformada de Laplace:

$$ms^2 X = kX_r - kX + bsX_r - bsX$$

$$m_r s^2 X_r = -kX_r + kX - bsX_r - bsX + k_r z - k_r X_r$$

$$(ms^2 + bs + k)X = (bs + k)X_r$$

$$(m_r s^2 + bs + k + k_r)X_r = (bs + k)X + k_r z$$

$$(ms^2 + bs + k)X = (bs + k) \frac{[(bs + k)X + k_r z]}{(m_r s^2 + bs + k + k_r)}$$

$$[(m\ddot{s}^2 + bs + k)(m\ddot{s}^2 + bs + k + k_r) - (bs + k)^2]X = k_r(b_s + k)z$$

$$[(m\ddot{s}^2 + bs + k + k_r)(m\ddot{s}^2 + bs + k) - (bs + k)^2]X_r = k_r(m\ddot{s}^2 + bs + k)z$$

Portanto, temos:

Eq.1:

$$\frac{X}{z} = \frac{k_r(bs + k)}{m_r m s^4 + (m_r + m) b s^3 + [(k + k_r)m + m_r k]s^2 + k_r b s + k_r k}$$

Eq.2:

$$\frac{X_r}{z} = \frac{k_r(m\ddot{s}^2 + bs + k)}{m_r m s^4 + (m_r m) b s^3 + [(k + k_r)m + m_r k]s^2 + k_r b s + k_r k}$$

A equação 1 é a função de transferência entre o deslocamento do ponto de contato entre o pneu e a pista (devido ao perfil irregular da mesma) e o deslocamento da roda ( $m_r$  é a massa da roda)

A equação 2 é a função de transferência entre z e o deslocamento do corpo do veículo (chassis).

### **3 – Análise da Sensibilidade**

Nesta etapa checar-se-á quais são os parâmetros críticos deste projeto.

Da equação vista no item anterior, tem-se:

$$T(\theta_4, t) = Fy_o \operatorname{sen} \theta$$

Ou seja, o torque requerido no círculo, é função do peso do veículo aplicado sobre a base vibratória e da amplitude de excitação necessária que se deseja aplicar.

Também sabe-se que:

$$POT = T \times \omega$$

Como o projeto prevê a capacidade de excitar uma massa de até 625 kg por base vibratória, deve-se constatar que:

- à medida que aumenta-se a amplitude de vibração, o torque necessário para excitar a massa na mesma frequência aumenta e consequentemente, a potência requerida também aumenta;
- um aumento na potência requerida leva a selecionarmos um motor com uma potência mais elevada;
- à medida que se aumenta a potência do motor AC, suas dimensões e seu custo crescem rapidamente.

Com base nas afirmações acima, convém estipular uma limitação de amplitude de excitação ao nosso projeto. Com isso temos que a amplitude é um parâmetro crítico. Portanto a amplitude máxima deverá ser:

$$y_0 \leq \frac{T_{máx}}{w * P}$$

onde P é o peso máximo de  $\frac{1}{4}$  do veículo.

A amplitude máxima determinará então qual a potência requerida pelo sistema, e portanto, as dimensões e o custo do motor, o que é extremamente importante para dimensionarmos todos os sub-conjuntos e também para que o equipamento não exceda limitações tanto de espaço físico como de custo.

Tal fato será levado em conta para analisarmos tanto a compatibilidade funcional, geométrica assim como dimensionamento e desenhos de conjunto do sistema.

## **4 – Análise da Compatibilidade e Otimização Formal**

### **4.1. Compatibilidade Funcional**

Para o início do dimensionamento do projeto, é necessário partir de três parâmetros funcionais, que são determinísticos para todo o dimensionamento restante. Tais parâmetros são: a amplitude de vibração , a frequência máxima com a qual se quer excitar o veículo e a potência necessária para tal.

A amplitude escolhida será de 20 mm, e isto já dimensionará o ressalto que nosso camo.

$$\text{ressalto do camo} = \text{amplitude}_{\text{máxima}} / 2 = 10 \text{ mm}$$

O motor, já previamente selecionado (16HP, 4 pólos) tem como rotação de saída 1750 rpm. Como a frequência máxima especificada para excitação do veículo, tem-se 15 Hz. Portanto, a redução necessária será de 1:2. Com isso, tem-se:

$$\text{Diâmetro da polia maior} = 2 * \text{Diâmetro da polia menor}$$

### **4.2. Compatibilidade Geométrica e Otimização Formal**

A partir do estudo da compatibilidade funcional, procede-se o dimensionamento de todos os subconjuntos do sistema. Paralelamente a isso, foram feitos os desenhos em ACAD 14.0, dos sub-conjuntos e finalmente o conjunto do equipamento testador de amortecedores. Tais etapas feitas em paralelo, permitiram não só dimensionar todos os sub-conjuntos, mas também que fosse feita a otimização formal num prazo mais curto de tempo.

A seguir seguem os dimensionamentos dos conjuntos e no ANEXO VI, os desenhos de conjunto de todos os sub-sistemas.

#### 4.2.1. Dimensionamento do sub-conjunto motor+polia+correia

Em nosso sistema, o sub-conjunto polia+correia terá a função de reduzir a rotação de saída do motor para a frequência desejada para testarmos nosso amortecedor.

A frequência máxima na qual será oscilado o veículo a ser testado é de 15Hz. A amplitude de vibração será de 20 mm. Também deve-se frisar que será utilizado apenas um motor para vibrar simultaneamente as duas rodas dianteiras e no passo seguinte as duas rodas traseiras.

Para tanto chegou-se à potência necessária, e consequentemente a potência do motor deve ser: (vide anexo do motor escolhido)

$$P = T \times w = 13500 \text{ N} \times 0,010 \text{ m} \times 2 \times \pi \times 15 = 12,7 \text{ kW} = 16 \text{ HP}$$

(Potência necessária para o motor oscilar as duas rodas simultaneamente)

Para esta faixa de potência, selecionamos correias trapezoidais de seção B ( largura = 16,7 mm ; altura = 11,1 mm ). Para tal seção, o menor diâmetro recomendado para a polia menor é de  $d=140$  mm.

Como a rotação máxima desejada é de 15 Hz ( 900 rpm ) teremos uma redução de 1:2. Portanto o diâmetro de nossa polia maior será de  $D=280$  mm.

Será utilizado uma distância entre centros das polias de  $C=360$  mm. Portanto, teremos:

$$\theta_{MENOR} = \pi + 2 \operatorname{arcsen}\left(\frac{D-d}{2C}\right) = 3,53 \text{ rad}$$

$$\theta_{MAIOR} = \pi - 2 \operatorname{arcsen}\left(\frac{D-d}{2C}\right) = 2,75 \text{ rad}$$

O comprimento da correia (L) será :

$$L = \sqrt{4C^2 - (D-d)^2} + (1/2)(D\theta_{MAIOR} + d\theta_{MENOR}) = 1393\text{mm}$$

E o comprimento corrigido:  $1393 + 46 = 1439$  mm.

Temos:

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60000} = 6,6\text{m/s}$$

E de acordo com a tabela (15.3 – ref.: *Shigley, Joseph Edward. Elementos de Máquinas*), teremos:

Capacidade de potência para a correia trapezoidal: 2,13 kW.

Logo teremos  $12,7\text{ kW} / 2,13\text{ kW} = 6$  correias.

#### **4.2.2. Dimensionamento do sub-conjunto mola da base vibratória**

Para este sub-conjunto será levado em conta que o peso total da base-vibratória+célula de carga+guias será de 8 kg e que teremos 4 molas helicoidais (uma em cada vértice) exercendo a função de retenção da base vibratória, pois a mesma sofrerá oscilações de até 15 Hz.

Teremos:

$$f=15 \text{ Hz}$$

$$v = 2\pi \cdot f \cdot e \cdot \cos \theta$$

$$a = -2\pi \cdot f \cdot e \cdot \theta \cdot \sin \theta$$

Sabe-se que:

$$\theta = \frac{t}{T} \cdot 2\pi = 2\pi \cdot f \cdot t$$

Substituindo:

$$a = -4\pi^2 f^2 e \sin \theta$$

As acelerações máximas ocorrerão em  $\theta = 90^\circ$  e  $\theta = 270^\circ$

$$F = m4\pi^2 f^2 e - mg$$

$$F = k \cdot x_{\max}$$

$$x_{\max} - x_{\min} = 2e$$

$$e = \frac{\text{AMPLITUDE}}{2} = 10 \text{ mm}$$

$$x_{\min} = 5 \text{ mm}$$

$$x_{\max} = 2e + x_{\min}$$

$$\therefore x_{\max} = 25 \text{ mm}$$

Igualando:

$$K = \frac{m(4\pi^2 f^2 e - g)}{x_{\max}} = 25300 \text{ N/m}$$

E, finalmente, para cada mola:

$$K = 6325 \text{ N/m.}$$

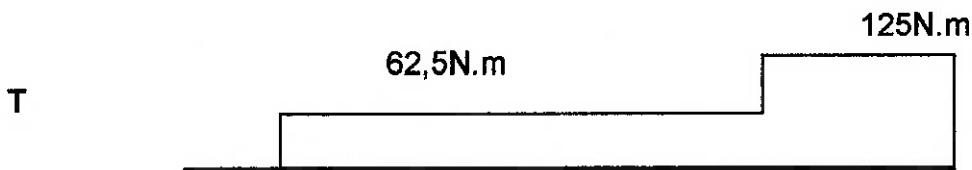
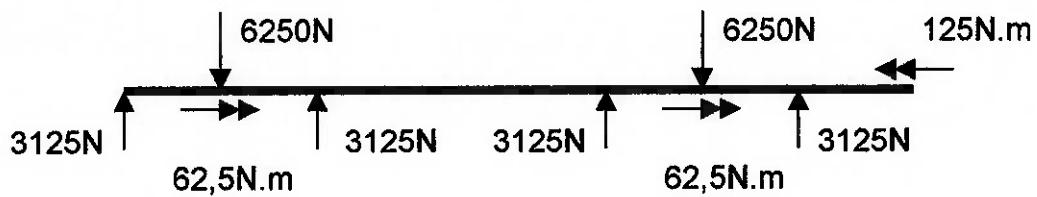
#### 4.2.3. Dimensionamento do Eixo

Pot = 11,8kW

$$\omega = 2\pi f$$

$$T = \text{Pot} / \omega$$

Portanto, para  $f=15\text{Hz}$ , tem-se:  $T=125 \text{ N.m}$



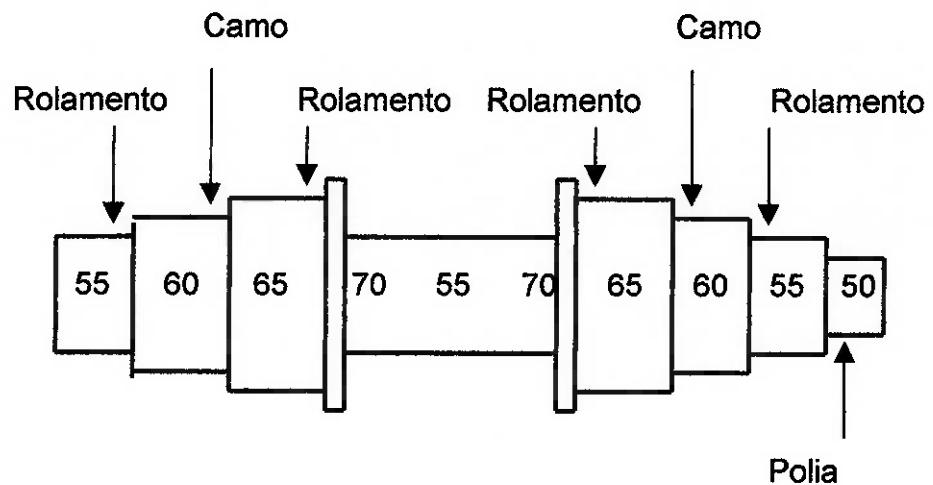
Seção crítica:

$$\tau_{\max} = \frac{T}{W_I} = \frac{125}{\frac{\pi d^3}{16}} \leq 62,5 \text{ MPa} \Rightarrow d \geq 22 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M.d}{I} = \frac{781.d}{\frac{\pi d^4}{32}} \leq 125 \text{ MPa} \Rightarrow d \geq 40 \text{ mm}$$

Portanto, utilizaremos um eixo de 2" de diâmetro:  $d=50\text{mm}$

Para satisfazer os encaixes entre o eixo e os camos, rolamentos e polia, o eixo deverá apresentar a geometria a seguir. Os diâmetros estão apresentados em milímetros.



#### 4.2.4. Dimensionamento dos Mancais de Rolamento

$$\frac{C}{P} = L_{10}^{\frac{1}{p}}$$

Onde:

$L_{10}$  = vida nominal [milhões de revoluções];

C = capacidade de carga dinâmica [N];

P = carga dinâmica equivalente [N].

Para rolamentos de esferas, tem-se: p=3

Cálculo de  $L_{10}$ :

- frequência máxima de funcionamento: 15Hz
- tempo de teste: aproximadamente 3 minutos

Assim, tem-se: 2700 revoluções/teste

- Considerando-se:

10 testes/hora,

8 horas/dia,

20 dias/mês,

12 meses/ano,

10 anos,

- Tem-se  $L_{10} = 518,4$  milhões de revoluções

- $P = 3125N$

- Portanto:  $C = 25100N$

Assim, pode-se selecionar os seguintes rolamentos de esferas:

- para diâmetro do eixo = 55mm  $\Rightarrow$  6011
- para diâmetro do eixo = 65mm  $\Rightarrow$  6013

#### **4.2.5. Dimensionamento do Camo**

- Excentricidade:

$$e = \frac{\text{Amplitude Vibração (pico a pico)}}{2}$$

Portanto, para  $A_{\text{pico a pico}} = 20\text{mm}$ , tem-se:

$$e = 10\text{mm}$$

- Diâmetro interno para encaixe do eixo:  $d = 60\text{mm}$
- Diâmetro externo do camo:  $D = 200\text{mm}$
- Largura:  $B = 40\text{mm}$

#### **4.2.6. Dimensionamento do Sequidor**

O seguidor será composto por um rolamento de esferas:

$$L_{10} = 518,4 \text{ milhões de revoluções}$$

$$P = 6250\text{N}$$

$$\text{Portanto: } C = 50210\text{N}$$

- para  $d = 55\text{mm} \Rightarrow 6311$

$$B = 29\text{mm}$$

$$D = 120\text{mm}$$

## **5 – Análise de Estabilidade**

Deve-se prever entradas indesejadas para o nosso sistema e estas podem ser divididas em duas:

- a) Um veículo com peso acima do máximo especificado para o projeto sobre sobre as bases vibratórias.

Este problema poderia ser muito danoso ao sistema pois provavelmente queimaria o motor.

Para evitar tal transtorno, assim que o veículo se posiciona sobre a base vibratória, imediatamente a célula de carga mede seu peso e via software compara com o máximo especificado. Caso o peso exceda esse máximo, o software envia um sinal para o acionamento de um alarme.

- b) O operador entra com a marca e o modelo errado do veículo no banco de dados.

Isto acarretaria em uma má aferição dos resultados do teste para o amortecedor. Como no item anterior, a célula da carga comparará o peso medido com o do modelo digitado pelo operador e em caso de disparidade, via software será enviada uma mensagem na tela indicando um erro na entrada de dados.

## **6 - Tratamento dos sinais recebidos pela célula de carga e Simulação**

Durante a inspeção, o operador entrará com a marca e o modelo do veículo, e haverá um banco de dados com os valores para a massa do veículo assim como estará estimado no software a massa da roda e as constantes da rigidez do pneu e da mola, assim como uma faixa de valores aceitáveis e esperáveis para o amortecimento.

Iniciada a simulação com nosso equipamento os valores obtidos pela célula de carga irão ser tratados em uma placa AD/DA, e o software previamente programado irá comparar os valores medidos, com os valores esperados, enviando como resposta: APROVADO ou REPROVADO, para cada amortecedor do carro. (figura 14)

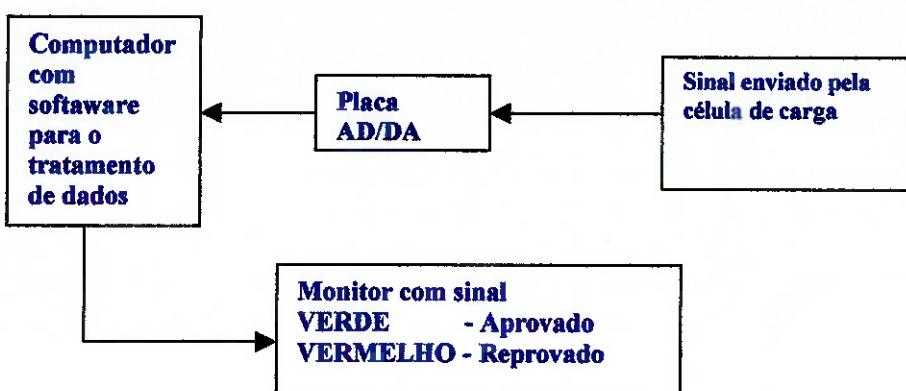


Figura 14 – Esquema de tratamento de dados

## **6.1. Simulação do Sistema**

Em nosso projeto, supomos que a pista tenha um perfil senoidal, com comprimento L e amplitude A. Também supomos que o veículo a está percorrendo com velocidade constante V. Assim, o período de oscilação será:  $T = L / V$ . A frequência de oscilação (rad/s) será:  $w = 2\pi (V / L)$ . O equipamento de teste terá como saída uma excitação senoidal, que simulará o perfil da pista vibrando com frequências que vão de 1 a 15 Hz.

O que se espera para a suspensão é que para pequenas amplitudes de vibração (grandes valores de L, como, por exemplo, na subida e descida de lombadas), o chassis (y) deve acompanhar o perfil da pista. Já para altas frequências de vibração (pequenas irregularidades na pista), se deseja que o chassis permaneça o mais imóvel possível, para garantir o conforto.

No caso da roda ( $v_r$ ), esta deve acompanhar a pista mesmo para L, pois a deformação da mola de constante  $k_r$  (que modela a elasticidade do pneu) é pequena, e, portanto, a variação da força de contato entre o pneu e o solo também o é. Como consequência disto, a força de atrito, que é proporcional à força de contato (força normal), também não se altera muito, garantindo a capacidade do veículo de fazer curvas. Mas para valores muito pequenos de L, a roda não precisa e nem consegue seguir o perfil da pista.

Ou seja, em termos de resposta em frequência, temos que, para o chassis, o ganho em baixa frequência deve ser 1 (ou 0 dB), mas deve cair à medida que a frequência aumenta (vide figura 19). Para a roda, o ganho em baixa frequência também deve ser 1 (0 dB), e este ganho deve permanecer aproximadamente igual até uma frequência a partir da qual a roda não acompanha o perfil da pista (vide figura 18).

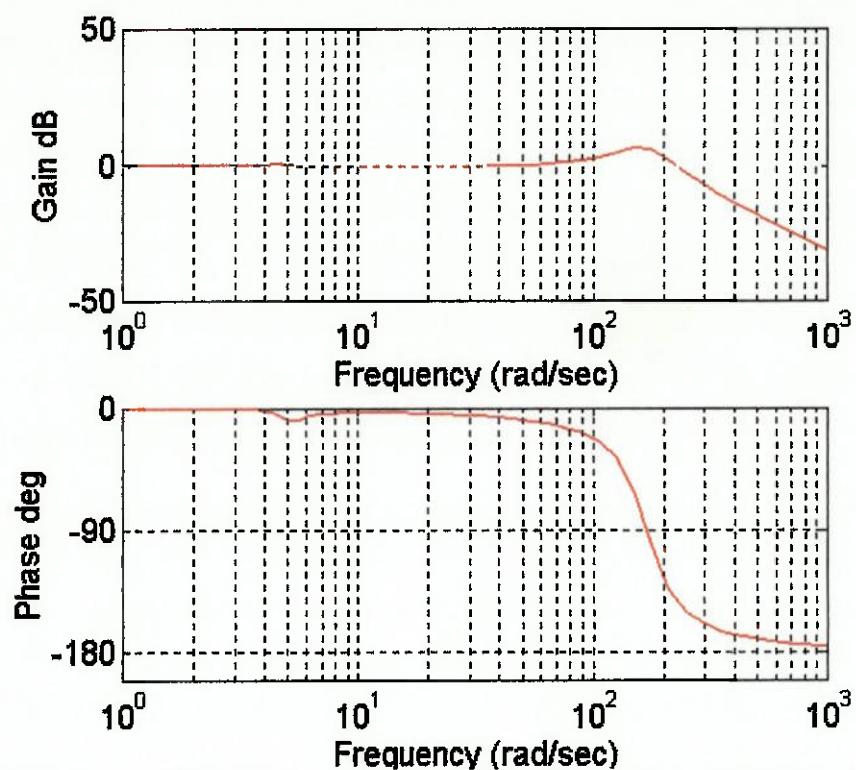


Figura 14 – Diagrama de Bode da função de transferência do movimento da roda em relação ao solo.

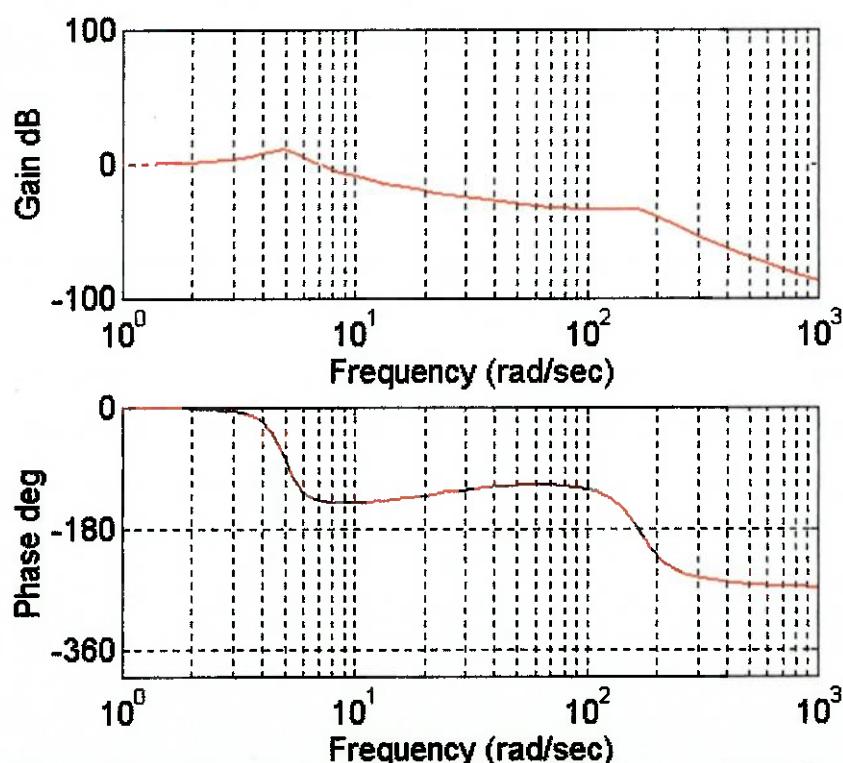


Figura 15 – Diagrama de Bode da função de transferência do movimento do chassis em relação à roda.

A seguir mostraremos algumas simulações do nosso modelo de suspensão sendo excitado em determinadas frequências geradas por nosso equipamento. A função do acelerômetro será, justamente captar estas respostas para serem analisadas no computador que será programado para aceitar valores estipulados para um bom amortecedor e rejeitar os valores que extrapolarem tal faixa de aceitação.

Nesta simulação, foi utilizado o programa MATLAB, e foram utilizados as seguintes entradas, simulando o procedimento real em que o operador entra com a marca e o modelo do carro e um banco de dados previamente programado levanta os valores abaixo:

Massa do veículo	500 kg
massa da roda+pneu	10 kg
frequência de excitação	15 Hz
$k_{mola}$	12600 N/m
$K_{pneu}$	277900 N/m
b (amortecimento)	765 Ns/m

Através da função de transferência do movimento entre a roda e o solo (figura 17), obtivemos como saída o gráfico da Amplitude do movimento da roda versus Tempo (figura 18). Como se pode observar, a roda tenta acompanhar a excitação promovida pela base vibratória que é de 0,020 m a 15Hz.

O mesmo foi feito com a função de transferência do movimento entre o chassis e a roda (figura 16), e então, obtivemos como saída o gráfico da Amplitude do movimento do chassis versus Tempo (figura 19). Notamos que neste caso, o chassis apresenta uma amplitude muito inferior à da excitação promovida pela base vibratória, o que indica que neste caso o amortecedor está bom.

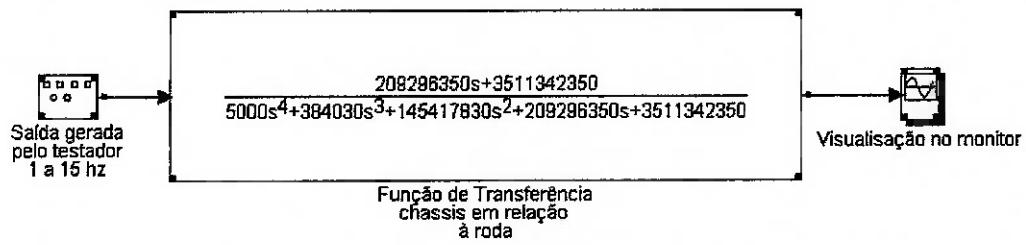


Figura 16 – Função de transferência do movimento do chassis em relação à roda.

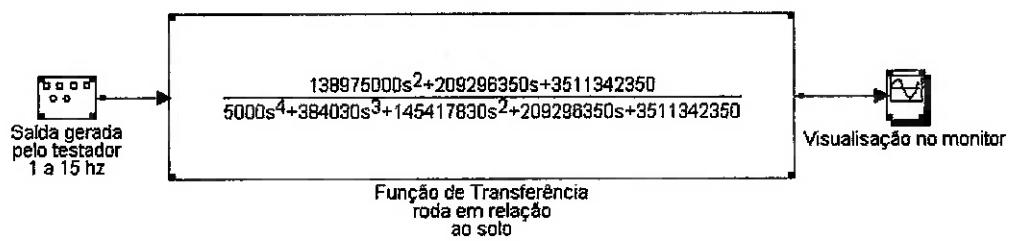


Figura 17 – Função de Transferência do movimento da roda em relação ao solo.

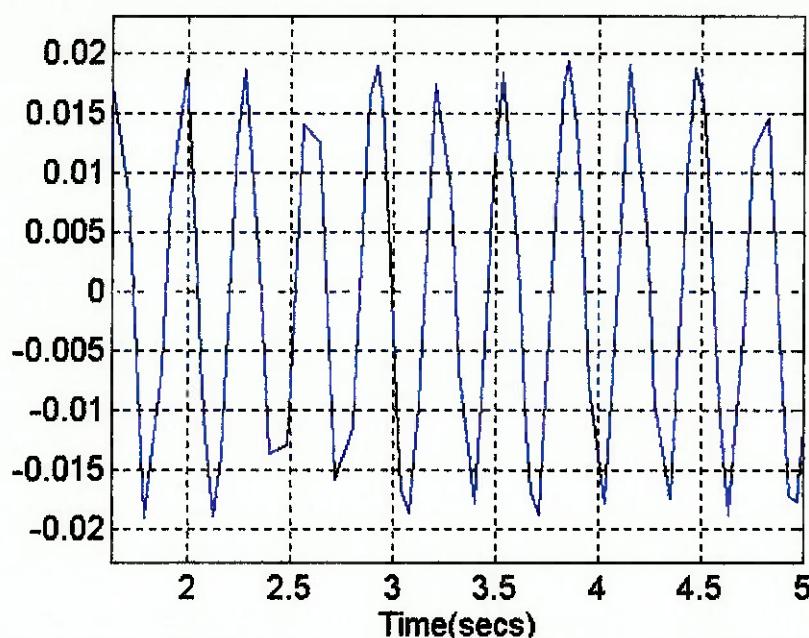


Figura 18 – Gráfico do movimento da roda em relação à base vibratória sendo excitada a 15 Hz, amplitude de 20 mm.

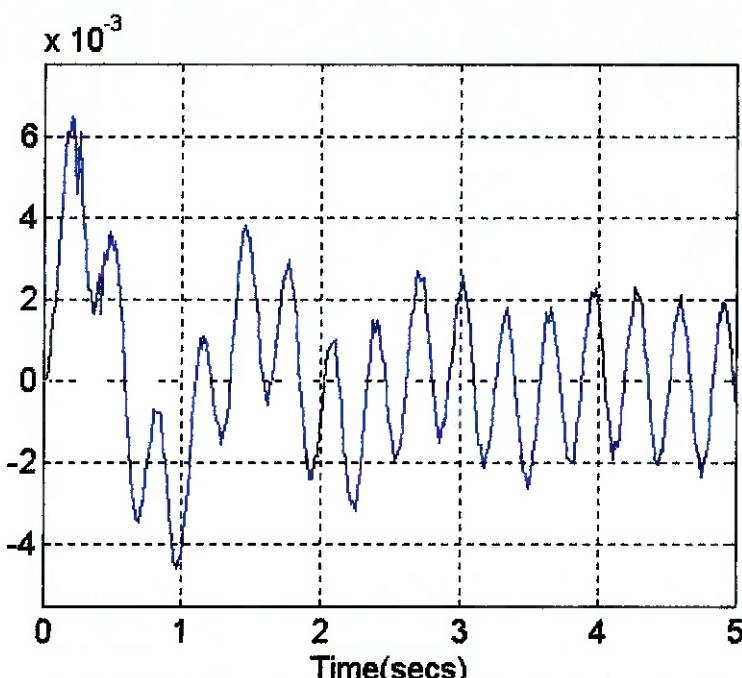


Figura 19 – Gráfico do movimento do chassis em relação à roda, sendo que a base vibratória está sendo excitada a 15 Hz, amplitude de 20 mm.

## **7 - Conclusão Final**

No Projeto Básico apresentado neste trabalho, inicialmente foi escolhida uma dentre as soluções viáveis elaboradas no Estudo da Viabilidade. Foram executados estudos e feitas análises sobre modelos de forma a permitir consolidar o projeto através de valores numéricos otimizados dos parâmetros que o caracterizam.

Conclui-se portanto que, uma vez definidos os parâmetros e características principais de projeto, a partir da realização do Projeto Básico o trabalho está apto à próxima etapa do programa de desenvolvimento e lançamento deste novo produto: O Projeto Executivo.

## **8 – Referências Bibliográficas**

- Shigley, J. E., “Elementos de Máquinas”, vol. 1, Livros Técnicos e Científicos Editora, São Paulo, 1984.
- Oberg, Erik and Jones, J. D., “Machinery’s Handbook”, The Industrial Press, New York, 1946.
- “Hütte, Manual del Ingeniero”, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1963.
- SKF, “Catálogo Geral”, Stamperia Artistica Nazionale, Torino, 1990.
- Doebelin, E. O., “Measurement Systems”, McGraw Hill Kogakusha, Tokyo, 1976.
- Ehrlich, P. J., “Engenharia Econômica”, 5<sup>a</sup> Edição, Editora Atlas, São Paulo, 1989.
- Feodosiev, V. I., “Resistencia de Materiales”, Editorial MIR, Moscou, 1980.
- Getschko, N., “PMC-435 – Introdução aos Elementos de Comando e Controle Hidráulico”, EPUSP, São Paulo, 1990.
- Ashby, M. F. and Jones, D. R. H., “Engineering Materials”, Pergamon Press, New York, 1986.

## ANEXO I

### ABDETRAN

RESOLUÇÃO N° 809, DE DEZEMBRO 1995

DISPÕE SOBRE A VISTORIA E A INSPEÇÃO DE VEÍCULOS E DÁ OUTRAS PROVIDÊNCIAS.

O CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO - CONTRAN, usando das atribuições que lhe confere art. 5º da Lei nº 5108, de 21 de setembro de 1996, que instituiu o Código Nacional de Trânsito, com as alterações introduzidas pelo Decreto-lei nº 237, de 28 de fevereiro de 1967;

Considerando o que dispõem os artigos 37 do Código Nacional de Trânsito e 42 e 120 do seu Regulamento, aprovado pelo Decreto nº 62.127, de 16 de janeiro de 1968, com as alterações constantes dos Decretos nºs 82.925, de 21 de dezembro de 1978 e 92.387, de 06 de fevereiro de 1986;

Considerando ser da conveniência técnica e administrativa que as vistorias e as inspeções dos veículos obedeçam a critérios e procedimentos uniformes em todo o País;

Considerando que a inspeção de segurança veicular constitui um serviço indispensável à manutenção das características técnicas dos veículos em circulação, verificando sua segurança ativa e passiva e conferindo maior proteção ao meio ambiente através do controle da poluição do ar e da aferição do nível de emissão de ruído;

Considerando o disposto no artigo 8º, da Resolução nº 7, de 31 de agosto de 1993, do CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente;

Considerando que a circulação de veículos em boas condições de segurança é de fundamental importância para diminuir os riscos e as ocorrências de acidentes de trânsito; e

Considerando o que consta do Processo nº 247/94 - DENATRAN e a deliberação tomada pelo Colegiado em sua Reunião do dia 12 de dezembro de 1995, resolve:

#### CAPITULO I - DA VISTORIA DE LICENCIAMENTO E DE TRANSFERÊNCIA

Art. 1º As vistorias de licenciamento dos veículos serão executadas pelos Departamentos de Trânsito, suas Circunscrições Regionais, entidades por eles

devidamente credenciadas ou por agentes da autoridade de trânsito e têm como objetivos verificar:

- a) a autenticidade da identificação do veículo e da sua documentação;
- b) a legitimidade da propriedade;
- c) se os veículos dispõem dos equipamentos obrigatórios, e se estes atendem às especificações técnicas e estão em perfeitas condições de funcionamento;
- d) se as características originais dos veículos, previstas no Art. 109 do Regulamento do Código Nacional de Trânsito e seus agregados não foram modificados, e se constatada alguma alteração esta tenha sido autorizada, regularizada e constante do prontuário do veículo na repartição de trânsito;

Parágrafo único. Os equipamentos obrigatórios são aqueles previstos no Art. 92 do Regulamento do Código Nacional de Trânsito, na Resolução CONTRAN nº 767/93 e demais Resoluções editadas sobre a matéria.

Art. 2º As vistorias de que trata o artigo anterior serão realizadas na ocasião do licenciamento anual e de forma contínua através da ação dos agentes da autoridade de trânsito.

Parágrafo único. Para os fins de licenciamento dos veículos de transporte de carga, de transporte coletivo e individual de passageiros, os órgãos de trânsito poderão aceitar a vistoria procedida pelo respectivo poder concedente, desde que atendidas as exigências previstas na legislação de trânsito e as disposições constantes nesta Resolução.

Art. 3º As vistorias por ocasião da emissão do Certificado de Registro de Veículos (CRV) e para atender ao que trata o Art. 8º da Resolução CONTRAN nº 754/91, serão executadas, exclusivamente, pelos Departamentos de Trânsito e suas Circunscrições Regionais.

Art. 4º A aprovação na vistoria de licenciamento é condição prévia para o licenciamento anual do veículo que será realizado com a expedição do Certificado de Registro de Licenciamento do Veículo (CRLV).

## CAPÍTULO II - DA INSPEÇÃO DE SEGURANÇA VEICULAR

ART. 5º Fica instituída a inspeção de segurança veicular destinada a examinar e atestar as reais condições de eficiência e de segurança dos sistemas funcionais dos veículos a ser executada pelos Departamentos de Trânsito, suas Circunscrições Regionais ou entidades por eles devidamente credenciados e têm como objetivos,

além daqueles previstos para a vistoria de licenciamento, o exame das condições dos itens relacionados a seguir:

I - emissões de gases e de ruídos;

II - sistema elétrico, de iluminação e de sinalização;

III - sistema de freios;

IV - sistema de direção;

V - sistema de suspensão;

VI - rodas e pneus;

VII - fechamento das portas, acionamento dos vidros e visibilidade de todas as áreas envidraçadas; e

VIII - estado geral da carroçaria e da estrutura, quanto a existência de avarias e corrosões.

§ 1º A inspeção de todos os itens de que trata este artigo será iniciada, obrigatoriamente, em janeiro de 1998, podendo ser antecipada, no todo ou em parte, a critério do Departamento de Trânsito, observando-se, em qualquer hipótese, o que dispõe esta Resolução e o seguinte cronograma mínimo:

a) no primeiro ano de funcionamento serão inspecionados todos os veículos da categoria oficial, de transporte remunerado de passageiros (coletivo e individual), de transporte de carga, de transporte escolar, de auto-escola e de locadoras;

b) no segundo ano de funcionamento serão inspecionados todos os veículos a partir de 10 (dez) anos de fabricação, excetos aqueles já inspecionados conforme a letra anterior, e

c) a partir do terceiro ano de funcionamento serão inspecionados todos os veículos, respeitada a periodicidade de 2 em 2 anos e dispensada a inspeção do veículo novo, quando do registro inicial (1º registro).

§ 2º A análise e aferição das emissões de gases e dos ruídos serão feitas com base nos requisitos constantes das Resoluções do CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente sobre as matérias.

§ 3º Para a realização das inspeções serão utilizadas as especificações e os requisitos técnicos fornecidos, no manual técnico do veículo, pelo fabricante ou montador.

§ 4º Ficam dispensados de realizar a inspeção de segurança veicular de que trata este artigo os veículos abrangidos pelas Resoluções CONTRAN nºs 771/93 e 797/95.

Art. 6º O exame das condições de eficiência e de segurança dos itens relacionados no artigo anterior, à exceção do item I, será realizado na forma dos procedimentos e

critérios estabelecidos pelo INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial.

Art. 7º As inspeções de que tratam o artigo 5º serão realizadas em estações automatizadas e informatizadas, fixas ou móveis, especialmente equipadas para esta finalidade, não sendo admitida a realização de qualquer outra atividade em suas instalações, notadamente aquelas concernentes a reparações, recondicionamento, substituição ou comércio de peças e acessórios, sendo proibida, também, a existência de qualquer propaganda ou alusão a esses serviços e quaisquer outros tipos de serviços e produtos.

§ 1º O grau de automação e de informatização das estações deverá ser dimensionado e guardar relação com a frota alvo de veículos a ser inspecionada, de forma a garantir a qualidade, a eficiência e a rapidez aos serviços prestados aos usuários.

## **ANEXO II**

### **O AMORTECEDOR**

#### **I - INTRODUÇÃO**

A finalidade básica desta "Apostila" é descrever o funcionamento do Amortecedor servindo, assim, como um Manual de Treinamento para os novos Funcionários, Montadores, Mecânicos e Representantes eliminando dúvidas que porventura existam.

#### **II - CARACTERÍSTICAS DO AMORTECEDOR MONROE**

##### **A) Selo de Lábios Múltiplos**

Especialmente projetado para evitar vazamento do óleo. A mola helicoidal mantém constante pressão sobre o selo para compensar o desgaste e produzir longo período de trabalho sem problemas.

##### **B) Guia da Haste**

Feita em ferro sintetizado é tratada termicamente, para mínimo atrito com a haste e grande resistência ao desgaste.

##### **C) Haste**

Feita em aço de alta qualidade, temperada e cromada, para mínimo desgaste e resistência à corrosão. Sua superfície de excelente acabamento, reduz ao mínimo o atrito com o selo, aumentando a durabilidade do mesmo.

##### **D) Molas Helicoidais**

Controlam o fluxo de óleo através das válvulas com maior uniformidade e resistência à fadiga, garantindo um rodar suave por toda vida do Amortecedor.

##### **E) Pistão**

Feito em ferro sintetizado e tratado termicamente para fechamento de poros. A MONROE atualmente possui dois projetos de Pistão: Projetos "1" e "2°".

##### **F) "O" Ring de Vedaçāo/Anel de Segmento/Bandagem de Teflon**

O grande "segredo" do Amortecedor MONROE é evitar o atrito Metal X Metal entre o Pistão e o Tubo de Pressão, reduzindo consideravelmente o desgaste. Obriga todo o óleo a passar através das válvulas do Pistão evitando a passagem de óleo pelas laterais do Pistão e garantindo um amortecimento mais eficiente.

##### **G) Corpo de Válvulas**

De funcionamento independente, responde instantaneamente ao movimento do

Amortecedor, mantendo o tubo de pressão permanentemente cheio de óleo, evitando "Pontos Mortos" e proporcionando um funcionamento correto e uniforme do Amortecedor. A MONROE atualmente possui dois projetos de Corpo de Válvulas: Projetos "1" e "2".

#### H) Tubo de Pressão

Construído em tubos de alta precisão, sua parede interna é perfeitamente lisa (rugosidade controlada) para diminuir o desgaste provocado pelo atrito.

#### I) Tubo Reservatório

Também construído em tubo de alta precisão. Na parte inferior, em conjunto com o copo da base, é feito através de solda o primeiro fechamento do Amortecedor e na parte superior em conjunto com o copo do selo, seu segundo e último fechamento.

#### J) Óleo (Fluído)

Especialmente desenvolvido para suportar desde a mais alta temperatura até a mais baixa, mantendo sempre constante o desempenho do seu Amortecedor Monroe e evitando a tão conhecida perda de ação pelo aquecimento. É um óleo mineral e sua substância básica é o "Naftenico".

III - FUNCIONAMENTO DO AMORTECEDOR   O Amortecedor funciona com base na mecânica dos fluidos, pois é uma peça hidráulica e tem como princípio a passagem de fluido através de orifícios e válvulas calibradas que oferecem resistência a passagem do fluido, restringindo, desta maneira, as oscilações da carroceria e/ ou rodas do veículo. É importante notar que o Amortecedor é um elemento passivo da Suspensão, ou seja, por si só não exerce nenhuma força para levantar ou abaixar a carroceria. Ele apenas tenta resistir a qualquer força que tenda a movimentá-lo, criando assim, uma força interna de reação à externa. Evidentemente que a força interna, resistente à externa, gera calor que é dissipado para a atmosfera. As forças externas são causadas quando o veículo atinge obstáculos da estrada como por exemplo: buracos, ondulações, etc. Se o veículo passa sobre um buraco, ele tenta abrir o Amortecedor -Temos então, o Curso de Extensão; e se ele passa sobre uma ondulação, a tendência é de fechar o Amortecedor originando o Curso de Compressão. Passamos a seguir, à mecânica de funcionamento dos cursos de Compressão e Extensão no Projeto Pistão "1" e Corpo de Válvulas "1".

### III - A) COMPRESSÃO

Na figura 1 anexa, podemos ver como trabalham as válvulas internas do Amortecedor e como flui o óleo através das mesmas no Curso de Compressão. Parte do óleo flui da câmara B para A através do Pistão e parte através do Corpo de Válvulas da câmara B para a câmara C. Para controlar a vazão do óleo, há três elementos de válvulas no Pistão e três no Corpo de Válvulas cujo funcionamento passamos a detalhar:

#### PISTÃO (13)

O conjunto de Pistão "1" compõe: Limitador do Pistão, Mola de Sobrecarga, Arrastador, Anel "O" Ring, Protetor, Pino Válvula de Recuo, Válvula de Recuo, Suporte Válvula de Recuo, Furos de Compressão e Extensão.

Inicialmente, o óleo flui livremente através dos furos de Compressão (23).

Esses furos são calibrados de tal maneira a não oferecer resistência à passagem do óleo em baixas velocidades de acionamento do Amortecedor, porém, a medida que a velocidade aumenta, vão oferecendo restrição à passagem do óleo, cada vez maior, contribuindo para o controle em altas velocidades de acionamento.

Nas baixas velocidades, após fluir através dos furos de compressão no Pistão, o óleo segue para as ranhuras (Bleeds) do Arrastador (20).

Os Bleeds como mais comumente são conhecidos, são pequenas passagens que permitem o óleo fluir para a câmara A, antes que haja pressão suficiente na câmara B para abrir a mola de sobrecarga (19).

À medida que a velocidade de acionamento aumenta, a pressão do óleo na câmara B também aumenta até que esta pressão atinja um valor de carga que abra a válvula da mola de sobrecarga, liberando então, uma área de maior passagem do óleo.

#### CORPO DE VÁLVULAS (16)

O conjunto Corpo de Válvulas "1" compõe: Válvula de Admissão, Válvula de Compressão, Pino de Válvula de Compressão, Mola Válvula de Compressão, Mola Válvula de Admissão e Fixador da Mola.

Ao mesmo tempo em que esse processo de passagem do óleo ocorre no Pistão, há também uma parte do óleo que está sendo deslocado para a câmara C, através do Corpo de Válvulas (16), devido ao volume da haste (10), entrando na câmara A.

Nas baixas velocidades de acionamento, o óleo flui através dos Bleeds (28) do Corpo de Válvulas (também aqui pequenas ranhuras cunhadas na superfície do Corpo).

À medida que a velocidade de acionamento do Amortecedor aumenta, a pressão do óleo aumenta sobre a Válvula de Compressão (25) fluindo então o óleo através do

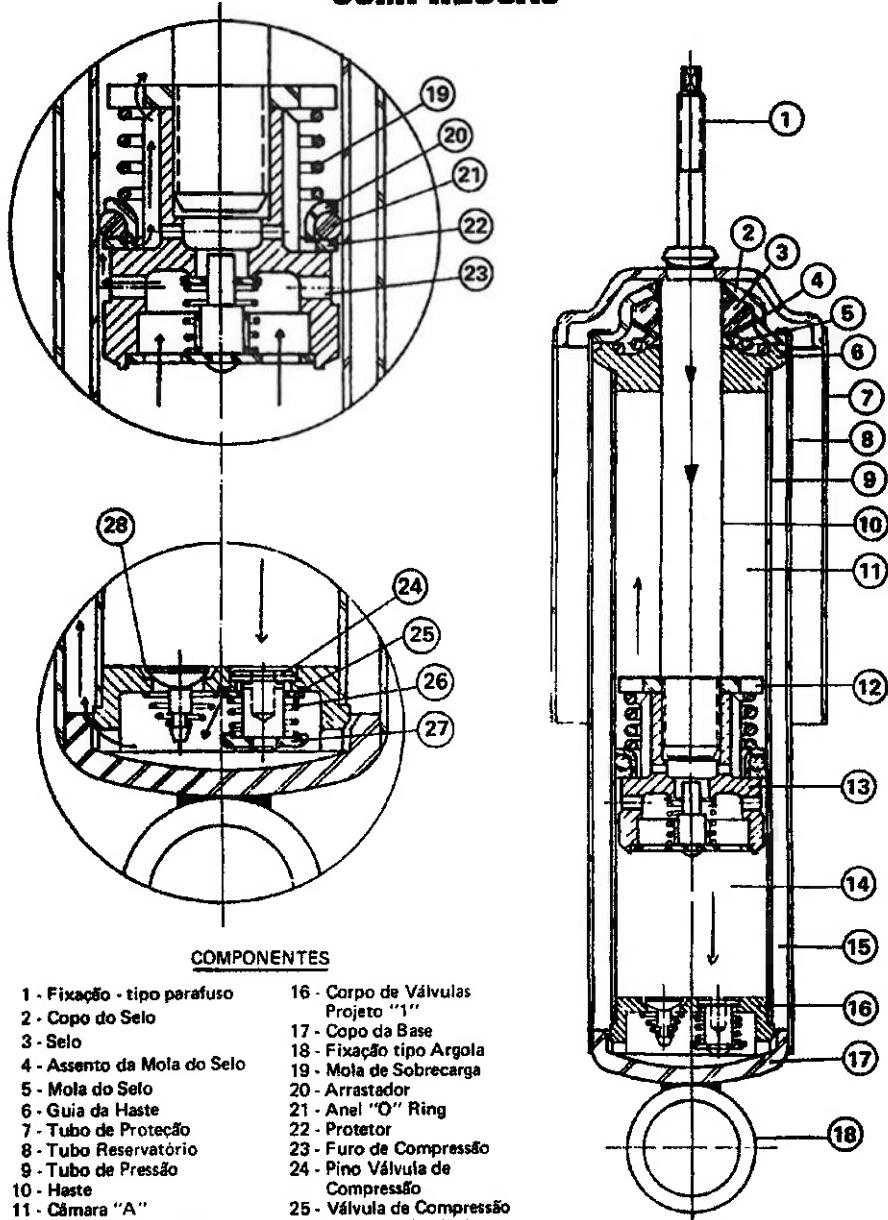
furo de Compressão e do Corpo de Válvulas.

Da mesma maneira que no Pistão, este furo é o elemento que oferece restrição e controle nas altas velocidades de acionamento.

Em resumo, os elementos de controle no Curso de Compressão são seis:

PISTÃO	CORPO DE VÁLVULAS
Baixa velocidade => Bleeds =>	Bleeds
Média velocidade => Mola de Sobrecarga =>	Mola de Compressão
Alta velocidade => Furos de Compressão =>	Furos Pino de Compressão

## COMPRESSÃO



4 FIGURA 1 - PROJETO 1

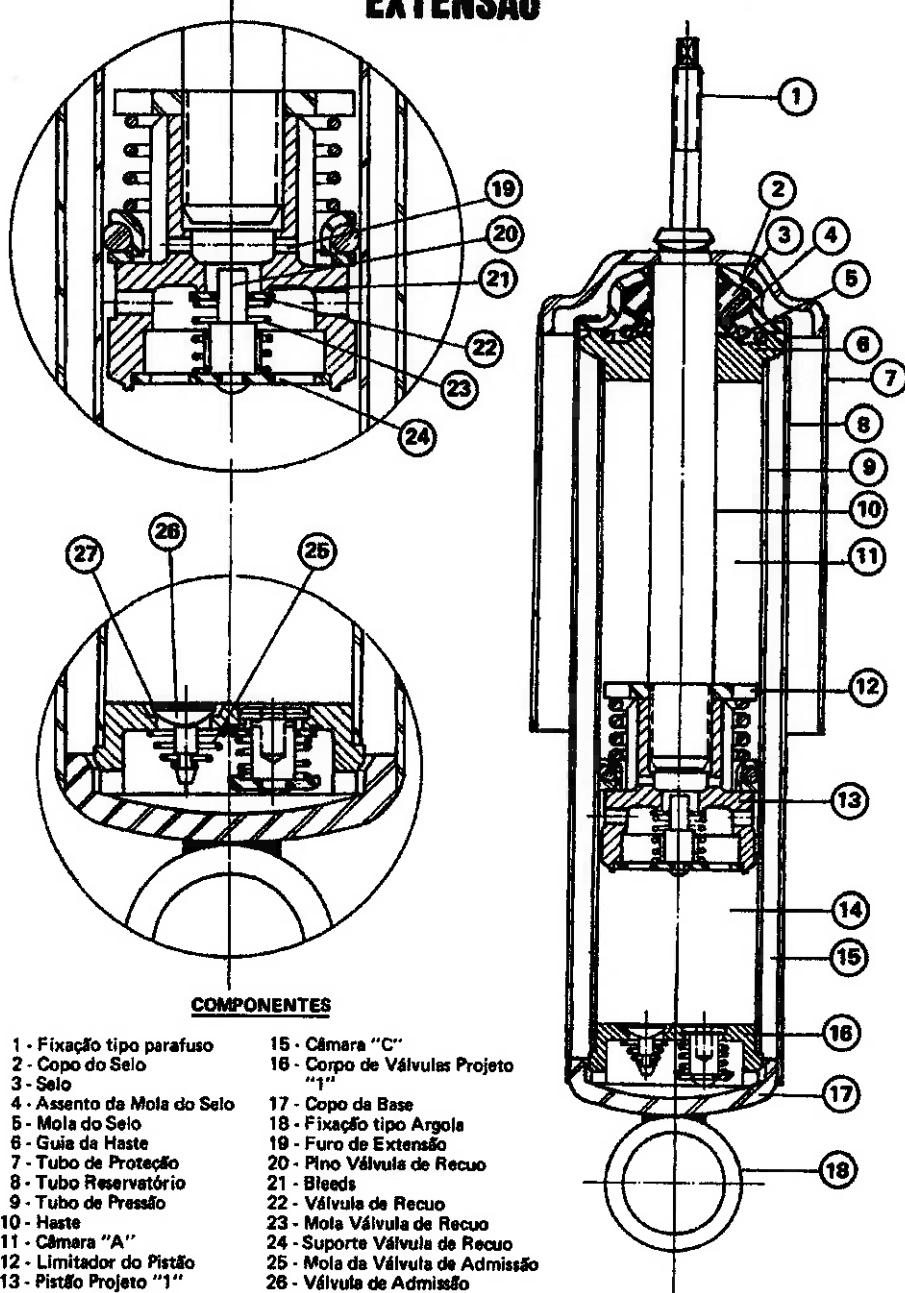
### III - B) EXTENSÃO

Na figura 2 anexa, podemos ver o funcionamento do Amortecedor no Curso de Extensão. Aqui, a haste é retirada da câmara A e um volume de óleo correspondente ao deslocamento da haste deve fluir da câmara A para a B e da câmara C para a B, de tal maneira a manter o tubo de pressão sempre cheio de óleo.

O óleo flui da câmara A para a B no pistão através de três elementos que aqui funcionam de acordo com a velocidade de acionamento do Amortecedor e de C para B através da Válvula de Admissão (26).

PISTÃO	CORPO DE VÁLVULAS
Baixa velocidade => Bleeds =>	Válvula de Admissão
Média velocidade => Mola de Recuo =>	Válvula de Admissão
Alta velocidade => Furos de Extensão =>	Válvula de Admissão

## EXTENSÃO



6 FIGURA 2 - PROJETO 1

Passamos agora, à mecânica de funcionamento dos Cursos de Compressão e Extensão no Projeto Pistão "2" e Corpo de Válvulas "2".

### III - C) COMPRESSÃO

Na figura 3 anexa, podemos ver como trabalham as Válvulas internas do Amortecedor, e como flui o óleo da câmara A para a B e para a C..

#### PISTÃO (12)

O conjunto de Pistão "2" compõe: Arruela Suporte do Pistão, Mola Estrela, Válvula de Admissão, Pistão, Anel de Segmento ou Bandagem de Teflon, Bleeds, Disco da Mola de Recuo, Arruela Válvula de Recuo, Assento da Mola, Mola e Porca do Pistão, Furos de Extensão e Rasgos de Admissão do pistão.

#### CORPO DE VÁLVULAS (15)

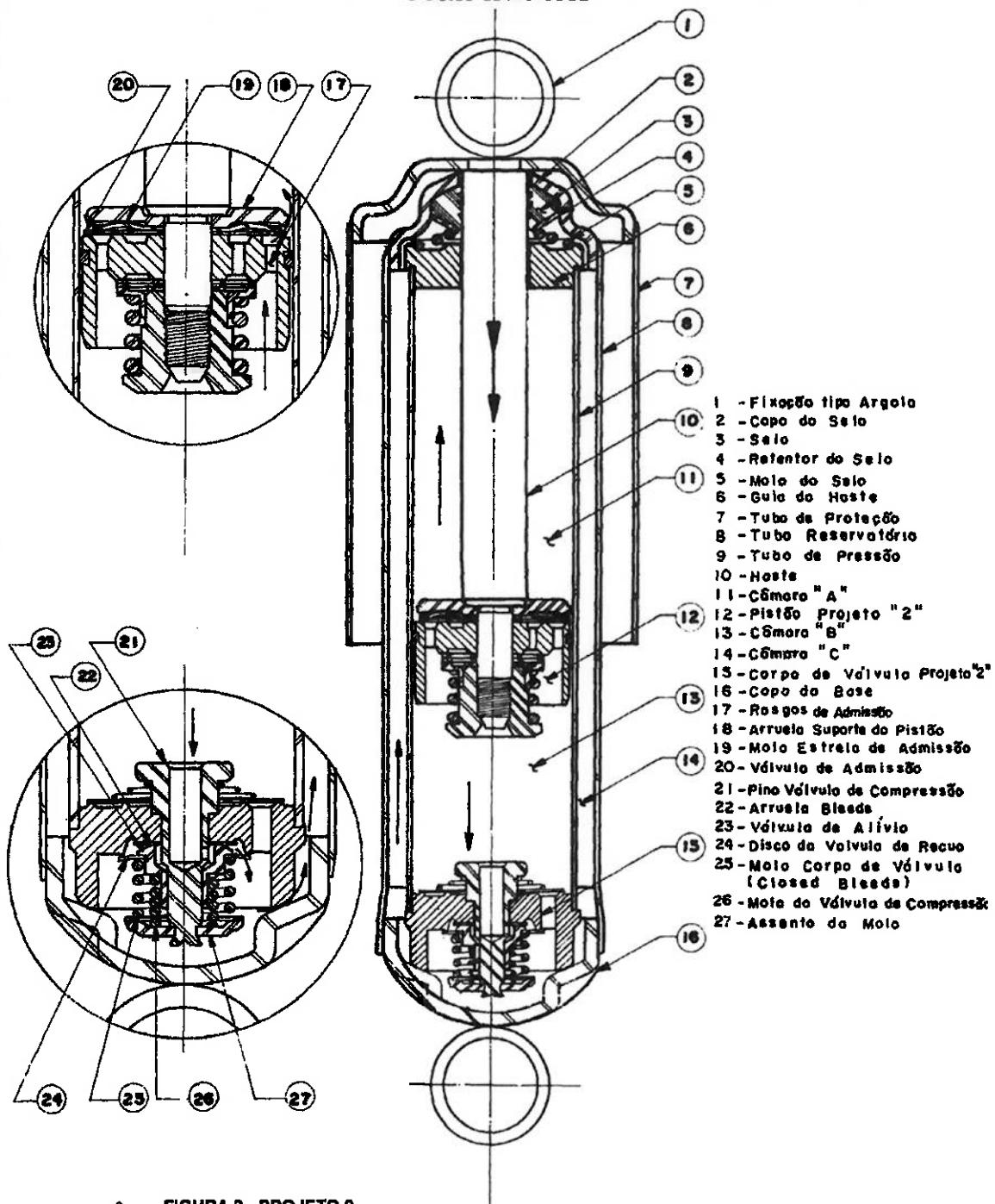
Seus componentes são: Pino Válvula de Compressão, Mola Válvula Admissão, Válvula Admissão, Corpo de Válvulas, Arruela Bleeds, Válvula de Alívio, Disco de Válvula, Mola Closed Bleeds, Mola Válvula Compressão, Assento da Mola e Rasgos de Admissão.

O óleo flui através da furação do Pino (21 ), acionando outros componentes: Arruela Bleeds (22), Válvula de Alívio (23), Mola de Compressão (26) e Disco de Válvulas (24), de acordo com a velocidade de ação.

Em resumo, os elementos de controle no Curso de Compressão são:

CORPO DE VÁLVULA	PISTÃO
Baixa velocidade ==> Bleeds ==>	Passagem Livre
Média velocidade ==> Mola de Compressão ==> Através dos Rasgos de Alta velocidade ==> Furação do Pino ==>	Admissão

## COMPRESSÃO



• FIGURA 3 - PROJETO 2

### **III - D) EXTENSÃO**

Na figura 4 anexa, podemos ver o funcionamento do Amortecedor no Curso de Extensão Projeto Pistão "2" e Corpo de Válvulas "2".

**PISTÃO** Na extensão 0 óleo flui da câmara A para a B através da furação (17) e Bleeds (18) e encontra resistência através do Disco de Recuo (19) e Mola (22), onde é atingida uma determinada carga, de acordo com a velocidade de ação.

#### **CORPO DE VÁLVULAS**

Na extensão a Válvula de Admissão (25) é acionada, fazendo com que o óleo flua através dos Rasgos de Admissão do Corpo de Válvulas (26).

Em resumo, os elementos de controle no Curso de Extensão são:

#### **PISTÃO**

Baixa velocidade ==> Bleeds ==>

Média velocidade ==> Molas ==>

Alta velocidade ==> Furos de Extensão ==> admissão

#### **CORPO DE VÁLVULA**

Passagem Livre

através dos Rasgos de

## EXTENSÃO

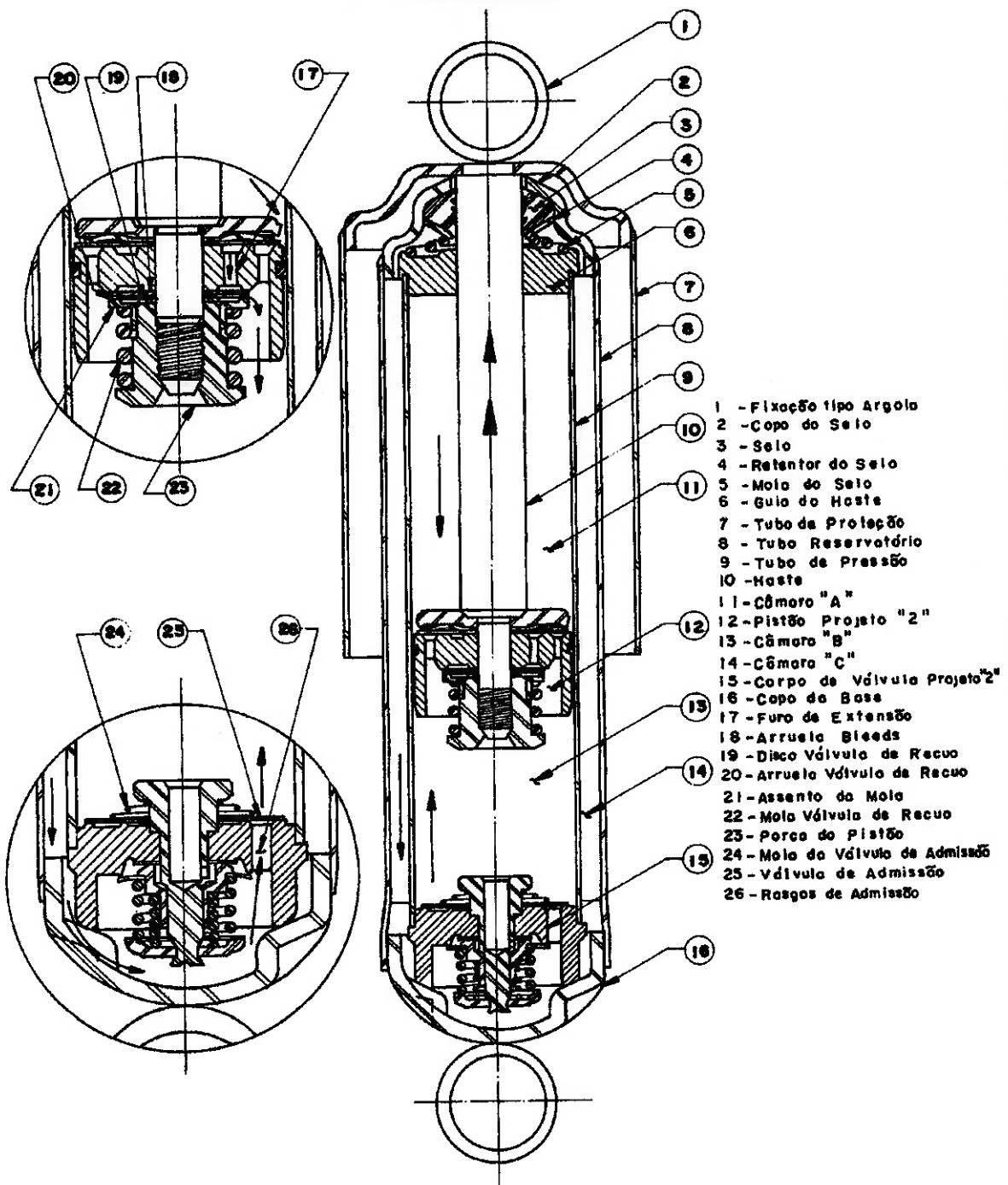


FIGURA 4 - PROJETO 2

Uma conclusão que podemos tirar do funcionamento dos Cursos de Compressão e Extensão é que a simples verificação das condições de um Amortecedor através de açãoamentos dos mesmos com as mãos, não é indicativo do estado do mesmo: o único elemento que podemos sentir com as mãos são os Bleeds pois, a força humana é praticamente insuficiente para gerar uma pressão interna nas câmaras, capaz de açãonar as molas ou tornar efetiva a resistência oferecida pelos furos. Para se verificar o real estado de um Amortecedor, há necessidade de se recorrer a máquinas especiais de Laboratórios (dinamômetros), que através de gráficos de curvas, indicam o comportamento do Amortecedor nas várias velocidades de açãoamento. São chamadas "Curvas Características" que variam de veículo para veículo, de acordo com a característica que se deseja: mais conforto, mais estabilidade, operação em buracos, etc. Na figura 5 anexa, pode-se ver a "Curva Característica" para dois veículos de comportamento e utilização diferentes. Para o veículo A, vê-se que as curvas são mais suaves e de valores de resistência mais baixos, ao passo que para o veículo B, os valores são mais altos e as curvas mais inclinadas, atingindo já nas baixas velocidades as cargas mais elevadas.

Podemos dizer que os veículos com suspensões macias, tem curvas semelhantes ao do tipo A, ao passo que os veículos com suspensões mais rígidas apresentam curvas do tipo B. As "Curvas Características" são determinadas sempre através de testes com veículos, os chamados "Ride Teste" durante os quais vão se combinando os vários tipos de Bleeds, molas e furos, até se conseguir um resultado satisfatório.

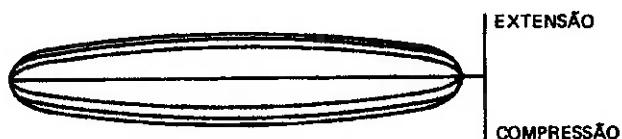
IV - QUANDO SUBSTITUIR OS AMORTECEDORES A função dos Amortecedores é fazer com que as rodas do veículo permaneçam em contato com o solo constantemente, e evitar que a carroceria se movimente excessivamente para cima e para baixo, proporcionando um rodar confortável e seguro. Os amortecedores MONROE são calibrados para cada tipo de veículo, absorvendo corretamente todas as irregularidades do solo e evitando que sensações desagradáveis sejam transmitidas aos passageiros. Amortecedores desgastados provocam a perda de aderência do veículo sobre a estrada afetando diretamente a segurança dos passageiros. Para orientá-lo sobre o momento exato de substituir os amortecedores, fornecemos, a seguir, alguns testes práticos e fáceis de serem efetuados no próprio veículo.

- 1 ) Desgaste irregular dos pneumáticos é indicação de amortecedores fracos;
- 2) Se pressionar o veículo para baixo através dos parachoques, o mesmo oscilar duas ou mais vezes;
- 3) Vazamento de óleo dos amortecedores;
- 4) Amortecedores com mais de 30.000 km. Com essa kilometragem, um amortecedor já se abriu e fechou mais de 36 milhões de vezes, o que, logicamente, produz desgaste, em seus componentes internos. Tenha sempre em mente que amortecedores em bom estado, além de evitar desgaste prematuro de peças vitais do automóvel, como: pneus, articulações, suspensão, peças de direção, buchas, etc. mantém sempre a perfeita aderência com o solo, permitindo total controle do veículo para sua segurança.

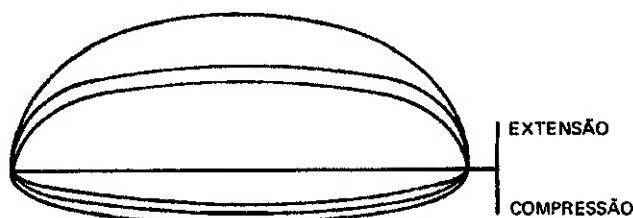
---

CURVAS CARACTERÍSTICAS

VEÍCULO A

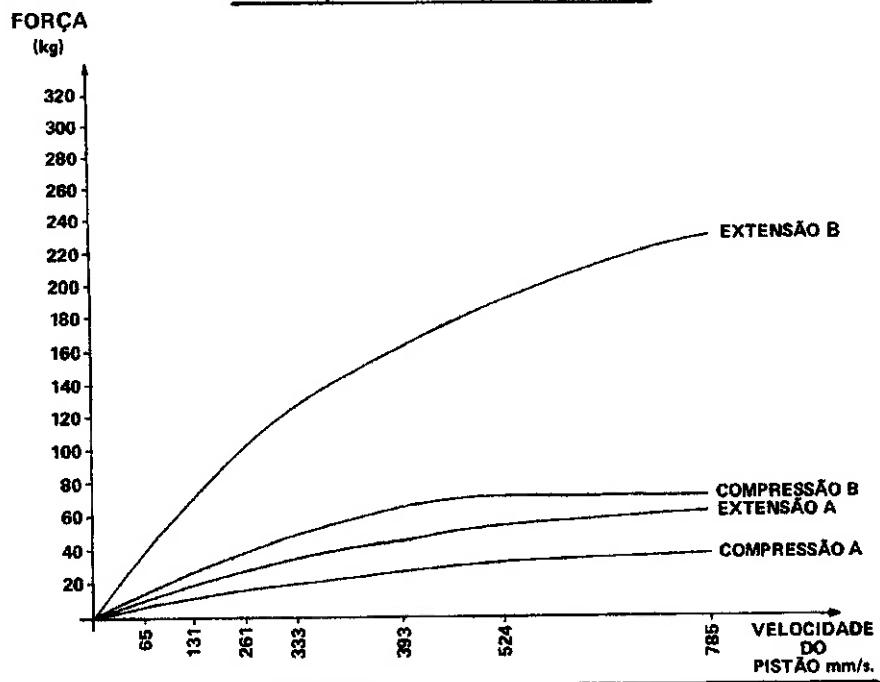


VEÍCULO B



---

COMPARAÇÃO DE CURVAS CARACTERÍSTICAS



12 FIGURA - 5

### **ANEXO III**

A TECFRAN Comercial Técnica Ltda, distribui toda a linha Hidráulica Industrial da Robert Bosch GmbH ( Alemanha ), com destaque para os seguintes produtos :

Válvulas Proporcionais "Closed Loop" ( Servo Válvulas ), Válvulas Proporcionais "Open Loop", Elementos Lógicos e Bombas de Pistões Radiais.

Além de um estoque básico, estamos capacitados a fornecer assessoria técnica, catálogos e assistência técnica a toda linha Hidráulica Industrial Bosch.

## **BOMBAS DE PALHETAS DE VAZÃO VARIÁVEL**

Projetadas conforme as normas NFPA.

Disponíveis em 3 deslocamentos: 15,2 - 53,4 e 79,9 cm<sup>3</sup> / rot.

Vazão máxima : 143 l / min a 1800 rpm.

Pressão máxima de trabalho : 70 bar.

Faixa de rotação : 400 a 1800 rpm.

Posição de montagem : sem restrições.

Disponível com eixo simples e passante.

## **BOMBAS DE MOTORES DE ENGRANAGENS**

Projetadas conforme as normas NFPA.

Deslocamento : 7,9 149,1 cm<sup>3</sup> / rot.

Pressão máxima de trabalho : 210 bar.

Faixa de rotação : 500 a 3600 rpm.

Disponível em 22 deslocamentos diferentes, com variados tipos de flanges, eixos, tomadas e formas construtivas.

Sentido de rotação horária ou anti-horária.

## **VÁLVULAS DIRECIONAIS**

Projetadas conforme as normas NFPA.

Tamanhos disponíveis : D03, D05, D08 e D10.

Operação : Direta ou Pilotada.

Acionamento por solenóide, manual, rolete ou pneumática.

Vazão Máxima : 662 l/min ( p : 5,8 bar )

Pressão Máxima de Trabalho : 210 bar.

Diversas opções de centro.

Disponível com solenóides CA e CC.

Posicionamento da haste por mola ou por detente.

## **VÁLVULAS REGULADORA DE PRESSÃO**

Projetadas conforme as normas NFPA.

Vários tamanhos nominais : de 3/8" até 1.1/4".

Funções : Alívio, Alívio e anticavitação, Seqüência, Redutora, Descarga, Contrabalanço e Descarga Diferencial.

Vazão Máxima : 379 l/min ( p : 5,8 bar )

Ampla gama de regulagens : de 3,5 até 210 bar.

Operação direta ou pilotada.

Montagem em placa ou em linha.

Disponível com ou sem retenção integral.

Para aplicação industrial ou mobile.

## VÁLVULAS REGULADORA DE VAZÃO

Projetadas conforme as normas NFPA.

Disponível com ou sem compensador de pressão e temperatura.

Vários tamanhos nominais : de 1/4" até 2".

Vazão Máxima : 114 l/min ( Compensada ) e 662 l/min ( Não Compensada ).

Pressão máxima de trabalho : 210 bar.

Disponível com ou sem retenção integral.

Montagem em placa ou em linha.

Disponível com válvula divisora de fluxo com vazão prioritária máxima de 57 l/min.

Para aplicação industrial ou mobile.

## VÁLVULAS DE RETENÇÃO

Projetadas conforme as normas NFPA.

Válvulas de retenção simples ou pilotada.

Vários tamanhos nominais : de 1/4" até 2".

Vazão Máxima : 984 l/min ( p: 1,8 bar ).

Pressão máxima de trabalho : 210 bar.

Montagem em placa ou em linha.

Para aplicação industrial ou mobile.

## VÁLVULAS MODULARES

Projetadas conforme as normas NFPA.

Disponíveis nos tamanhos D03 e D05.

Funções : Alívio, Redutora de pressão, Reguladora de Vazão, Retenção Simples e Retenção Pilotada.

Vazão Máxima : 100 l/min.

Pressão Máxima de Trabalho : 210 bar.

Duas faixas de ajuste de pressão para os módulos de alívio e redutor : de 5 a 70 bar e de 35 a 210 bar.

Facilidade de Montagem.

## CILINDROS HIDRÁULICOS MOBILE

Projetadas conforme as especificações do cliente.

Aplicação em todos os tipos de máquinas mobile, assim como, máquinas agrícolas, rodoviárias, movimentação de carga e etc...

Simples e dupla ação.

Diâmetro máximo : 8".

Curso máximo : 2500 mm (geral). 3500 mm para cilindros de elevação (empilhadeiras).

Vários tipos de montagens, inclusive Mill Type.

Excelente desempenho para trabalhos severos.

Dispõe do moderno sistema de vedação.

Cilindros telescópicos são disponíveis, sob consulta.

## **COMANDOS DIRECIONAIS MÚLTIPLOS**

Para aplicação em máquinas e implementos agrícolas, rodoviários e industriais.

Modelos : ML/MG 15, ML/MG 25 e ML/MG 42.

Tipos de acionamento : Manual, Elétrico, Hidráulico ou Pneumático.

Montagem em seções ( tipo sanduíche ) com até 10 corpos centrais.

Diversos Acessórios : Válvula de Alívio, Anti-Cavitação, Retenção Pilotada, Retenção de Carga, Destrave Hidráulico, etc...

Várias opções de hastes direcionais.

Vazão Máxima : 60 l/min (ML/MG 15), 95 l/min (ML/MG 25) e 160 l/min (ML/MG 42).

Pressão Máxima de Trabalho : 210 bar ( ML/MG 15 e ML/MG 25 ) e 242 bar ( ML/MG 42 ).

Várias opções de tamanho e tipos de tomadas.

## **SISTEMAS HIDRÁULICOS**

Unidades Hidráulicas e Blocos "Manifold" para acionamento de máquinas e equipamentos, bancadas de teste e de treinamento.

Projetados de acordo com os requisitos de cada aplicação, seguindo as normas NFPA.

Reservatórios : Padronizados com capacidade de 18 até 1330 litros ou especiais.

Para aplicações industriais ou mobile.

Vários Acessórios Disponíveis : Filtros, Manômetros, Pressostatos, Isoladores de Manômetros, Acumuladores, Bombas Manuais e Outros...

## **ANEXO IV**

### **CATÁLOGO WEG MOTORES LTDA. MOTOR TRIFÁSICO IP 55**

#### **CARACTERÍSTICAS:**

Potência: 0,16 a 500HP (0,12 a 370kW)

Pólos: II, IV, VI , VIII

Carcaça em ferro fundido: 63 a 355 (143T a 586/7T)

Baixa tensão

Freqüência: 60 ou 50Hz

Proteção: IP 55 (TFVE)

De acordo com a Norma ABNT, IEC e NEMA

#### **APLICAÇÃO:**

Bombas, centrais de ar condicionado, ventiladores, britadores, talhas, compressores, transportadores contínuos, máquinas operatrizes, bobinadeiras, moinhos, trefiladeiras, centrífugas, prensas, guindastes, pontes rolantes, cavalos mecânicos para prospecção de petróleo, elevadores, teares, trituradores, picadores de madeira, injetores, extrusoras, tração de vagões, mesas de rolos, torres de resfriamento, embaladeiras, etc...

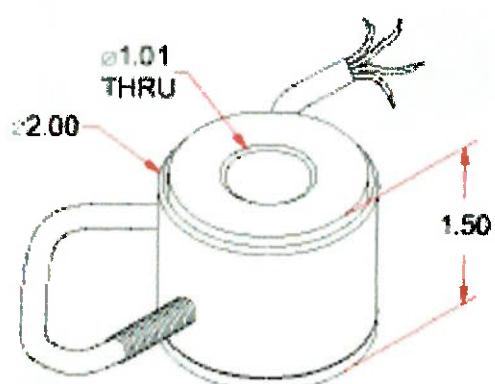
ANEXO V

## Thru-Hole Load Cell



Rated Output (R.O.) · 2 mV/V nominal  
Excitation (VDC or VAC) · 10 recom., 18 max.  
Bridge Resistance · 500 ohms  
Non-linearity ·  $\pm 0.5\%$  of R.O.  
Non-repeatability ·  $\pm 0.2\%$  of R.O.  
Temp. Shift Zero · 0.005 % of R.O. / ° F  
Temp. Shift Span · 0.005 % of LOAD / ° F  
Compensated Temp. · 60 to 160° F  
Operating Temp. · -60 to 212° F  
Material · Aluminum  
Cable · 4-Conductor, Shielded, 5 ft.

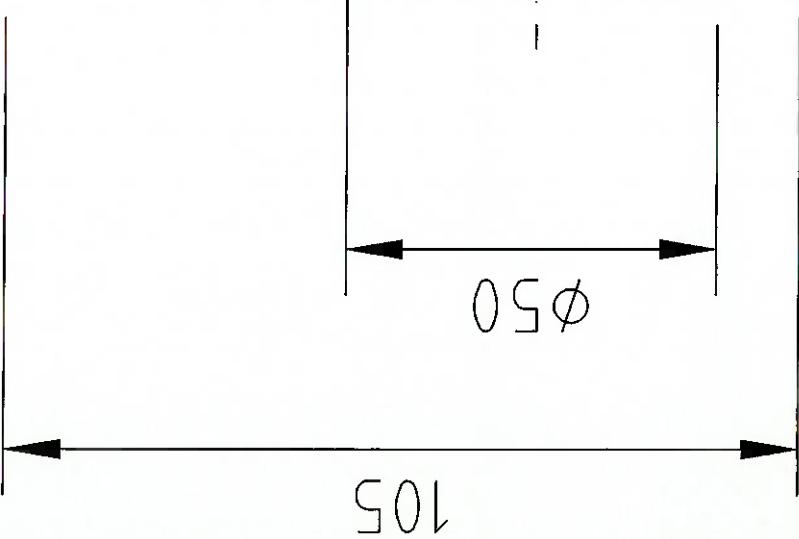
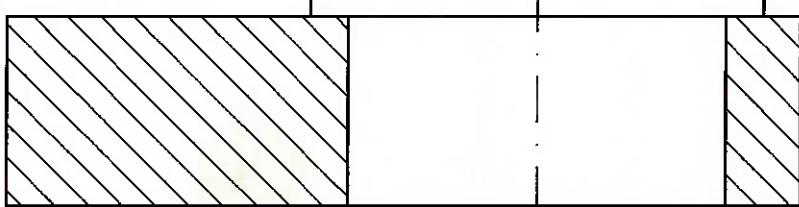
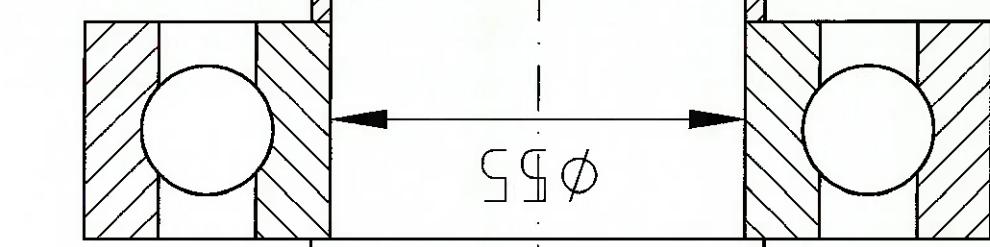
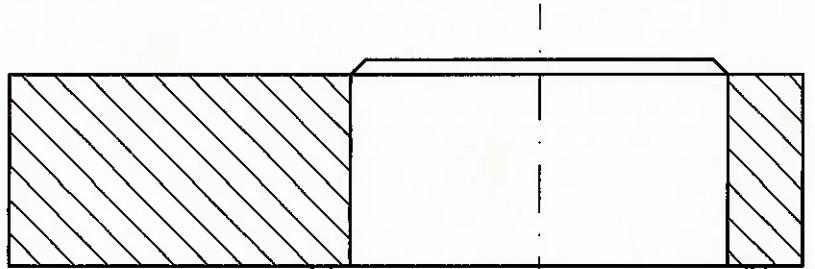
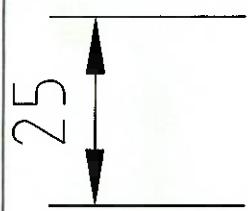
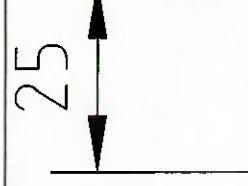
### Dimensions (inches)



Capacity (lbs.)  
3K

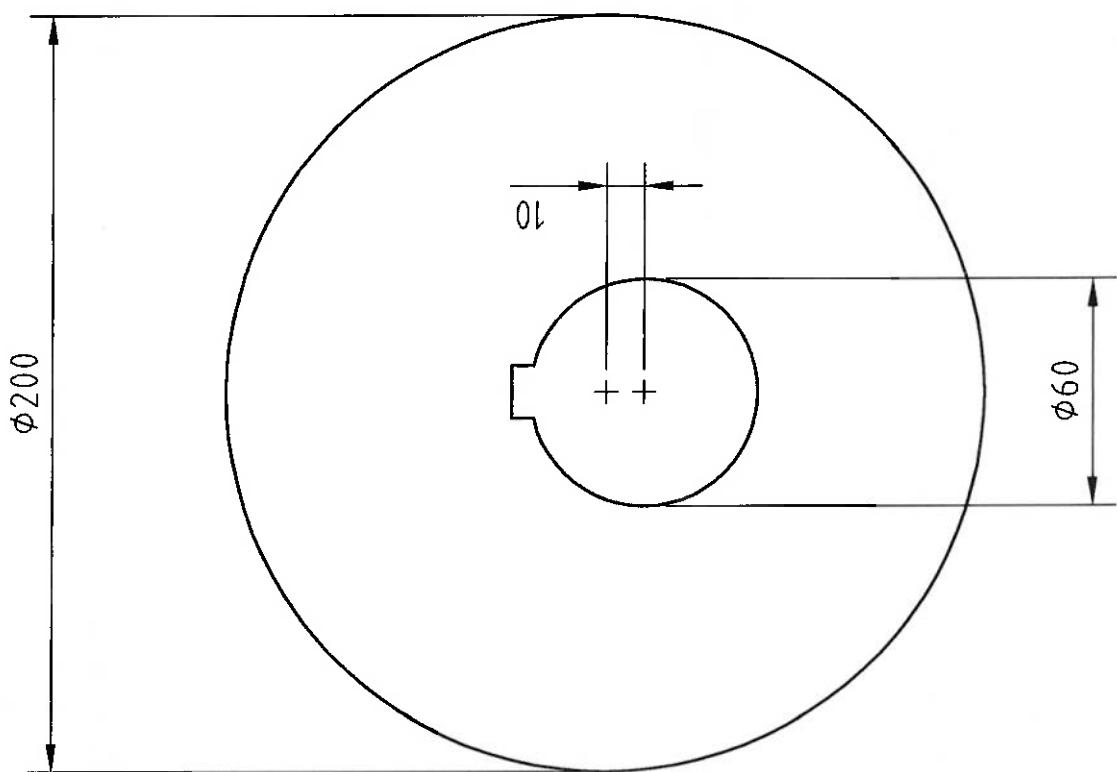
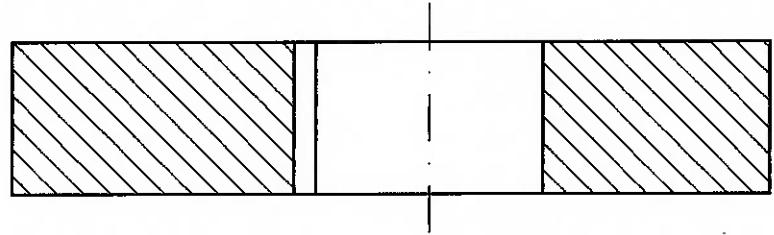
## ANEXO VI

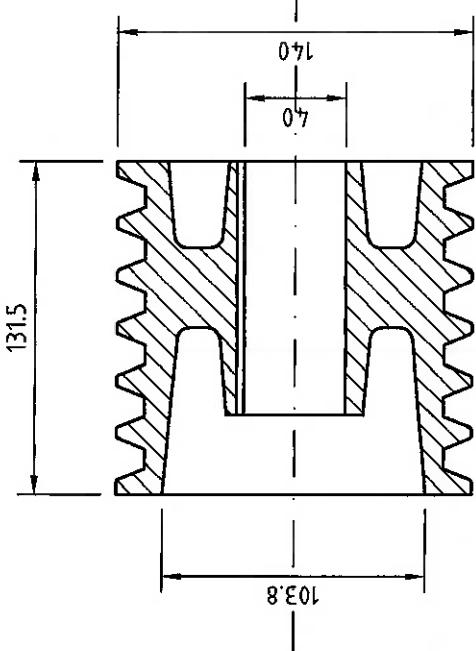
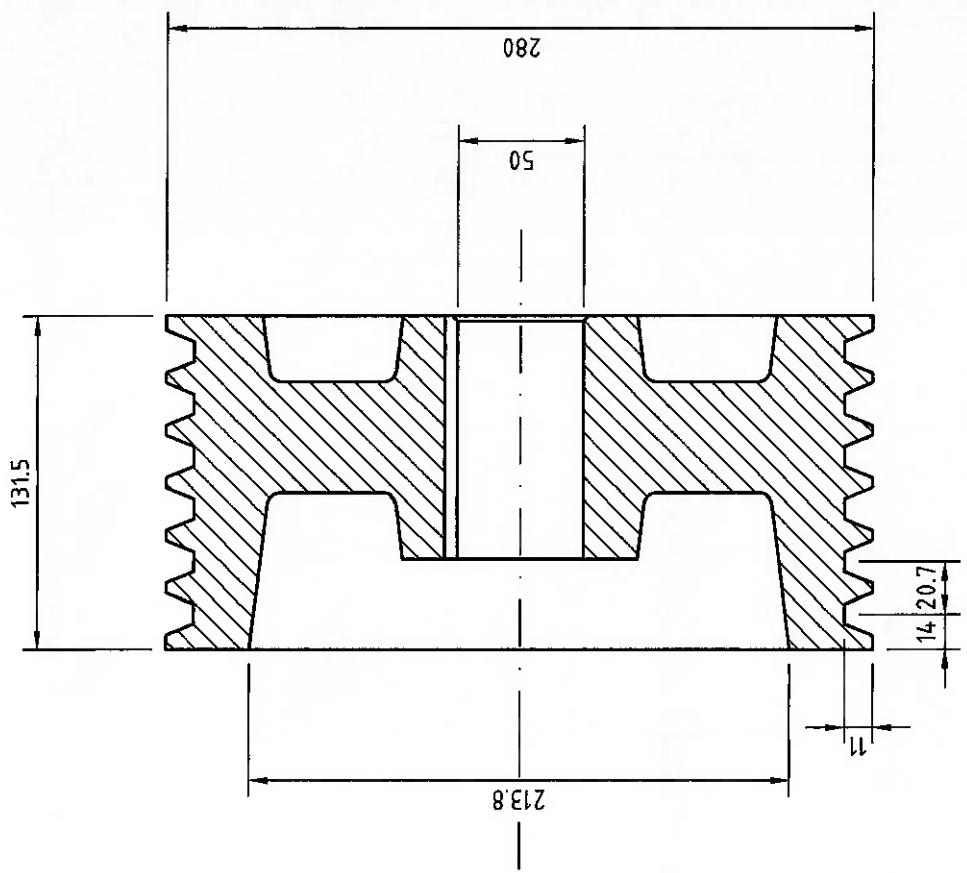
Nas páginas a seguir se encontram os desenhos de conjunto e sub-conjuntos constituintes do dispositivo para teste de amortecedores em veículos de passeio na inspeção veicular, dimensionados anteriormente (vide Compatibilidade Geométrica).



USP	Engenharia Mecânica
Seguidor	material: aço 1045
escala 1:1	quantidade: 02
projeto: Dispositivo p/ teste de amortecedores	

<i>USP</i>	<i>Engenharia Mecânica</i>
<i>Camo</i>	<i>material: aço 1045</i>
<i>escala: 1:2</i>	<i>quantidade: 02</i>
<i>projeto: Dispositivo p/ teste de amortecedores</i>	





<i>USP</i>	<i>Departamento de Eng. Mecânica</i>
<i>Pólias</i>	<i>Materiais: aço 1020</i>
<i>escala:</i> 1:3	<i>Quantidade: 02</i>
<i>projeto: Dispositivo p/ teste de amortecedores</i>	