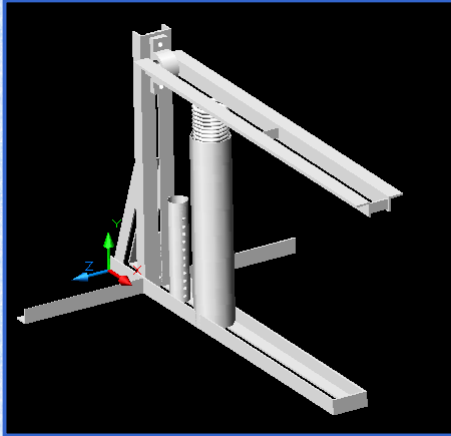


Universidade Luterana do Brasil
Engenharia Mecânica Automotiva



**Medição de Coeficientes de
Amortecimento de
Amortecedores**

Jack Pogorelsky Jr

Junho de 2005

Orientador: Dr. Rafael Antônio Comparsi Laranja
Coordenador do TCC: Dr. Gilnei Ocácia

INTRODUÇÃO

O estudo das vibrações trata do movimento oscilatório de sistemas e as condições nas quais o movimento é efetuado.

Características importantes para as vibrações

- Elasticidade
- Amortecimento

OBJETIVOS

Geral

Desenvolvimento de equipamento que possibilite a determinação dos coeficientes de amortecimento para amortecedores de carros e motos.

Específicos

- Obter o coeficiente de amortecimento de um amortecedor;
- Equipamento flexível e de fácil utilização;
- Método de cálculo do coeficiente de amortecimento.

JUSTIFICATIVA

Falta de informação sobre valores de coeficientes de amortecimento (ou índice de amortecimento) disponibilizada pelos fabricantes.

MÉTODO

- 1º) Definição do equipamento - necessidades;
- 2º) Estudo de diferentes meios de desenvolvimento do projeto - seleção de um;
- 3º) Modelo Matemático;
- 4º) Dimensionamento e desenho dos componentes
- 5º) Montagem;
- 6º) Teste e Resultados.

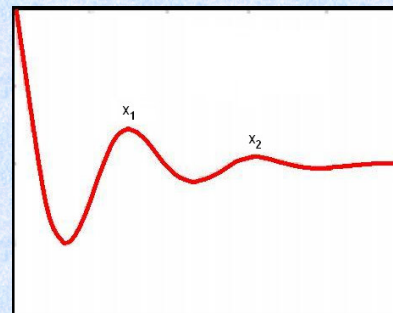
MÉTODO

1º) *Definição do equipamento – necessidades*

→ **Obtenção experimental do:**

→ Decremento Logarítmico

→ Freqüência Natural Amortecida

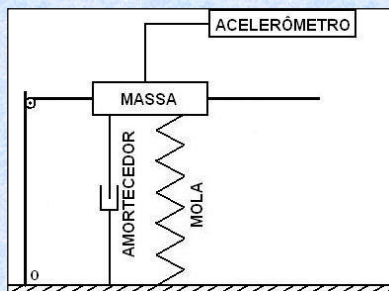


→ **Cálculo do coeficientes de amortecimentos de amortecedores de carros e motos**

MÉTODO

2º) Estudo de diferentes meios de desenvolvimento do projeto

Forma 1 – “Mola junto com o amortecedor”



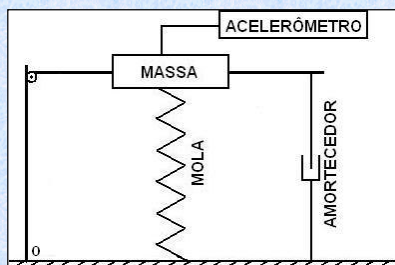
Motivo da Não Utilização

- Dificuldade para troca de amortecedores;
- Necessidade de uma mola para cada amortecedor.

MÉTODO

2º) Estudo de diferentes meios de desenvolvimento do projeto

Forma 2 – “Massa sobre a mola e antes do amortecedor”



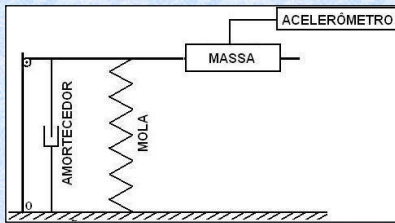
Motivo da Não Utilização

- Coeficiente de Amortecimento equivalente na massa muito alto;
- Frequência Natural muito abaixo do limite de operação do acelerômetro.

MÉTODO

2º) Estudo de diferentes meios de desenvolvimento do projeto

Forma 3 – “Mola entre a massa e o amortecedor”



Motivo da Utilização

- Facilidade para posicionamento da mola
- Freqüência Natural dentro do limite de operação do acelerômetro.

MÉTODO

3º) Modelo Matemático

1- Das Amplitudes x_1 e x_2 → Decremento Logarítmico

δ - decremento logarítmico, *adimensional*
 n - número de picos, *adimensional*
 x - amplitude do primeiro pico, *unidade igual ao x_2*
 x_n - amplitude do último pico, *unidade igual ao x_1*

$$\delta = \frac{1}{n} \cdot \left(\ln \frac{x}{x_n} \right)$$

2- Decremento Logarítmico → Índice de Amortecimento

ζ - índice de amortecimento, *adimensional*

$$\delta = \frac{2 \cdot \pi \cdot \zeta}{\sqrt{1 - \zeta^2}}$$

3- Índice de Amortecimento e Freqüência Natural Amortecida → Freqüência Natural

ω_n - freqüência natural, em *rad/s*
 q - freqüência natural amortecida do sistema, em *rad/s*

$$\omega_n = \frac{q}{\sqrt{1 - \zeta^2}}$$

MÉTODO

3º) Modelo Matemático

4- Freqüência Natural → Coef. de Amort. Equivalente na massa

$$\omega_n \cdot \zeta = \frac{c_{eq}}{2m}$$

m - massa adicionada ao sistema, em kg
c_{eq} - coeficiente de amortecimento na linha de ação da massa, em N.s/m

5- Coef. de Amort. Equivalente na massa → Coef. de Amort. do Amortecedor

$$c = c_{eq} \cdot \left(\frac{L}{d}\right)^2$$

c - coeficiente de amortecimento do amortecedor, em N.s/m
L - distância da massa até a origem do sistema, em m
D - distância da mola até a origem do sistema, em m

MÉTODO

3º) Modelo Matemático

Planilha para Cálculo

TABELA PARA CÁLCULO DO COEFICIENTE DE AMORTECIMENTO		
CONDIÇÕES INICIAIS		
<i>m</i> (kg)	1,15	Entrar com Esse Dado
<i>k</i> (N/m)	57000	Entrar com Esse Dado
<i>d</i> (m)	0,08	Entrar com Esse Dado
<i>D</i> (m)	0,205	Entrar com Esse Dado
<i>L</i> (m)	0,91	Entrar com Esse Dado
DADOS OBTIDOS EXPERIMENTALMENTE		
X1 (mV)	49,5	Obter Esse Dado
X2 (mV)	27,2	Obter Esse Dado
q (rad/s)	32,8	Obter Esse Dado
DECREMENTO LOGARÍTMICO		
δ (adimensional)	0,30	δ = (LN(X1/X2))/2
FATOR DE AMORTECIMENTO		
ζ (adimensional)	0,05	ζ = ((δ²)/(d²+4*π²))*0,5
FREQUENCIA NATURAL		
ω (rad/s)	32,84	ω = q/((1-ζ²)*0,5)
<i>k</i> equivalente (N/m)	2892,68	<i>k</i> equivalente = ((D/L)²)* <i>k</i>
COEFICIENTE DE AMORTECIMENTO		
<i>C</i> equivalente (N.s/m)	3,61	<i>C</i> equivalente = ω²*m*ζ
<i>C</i> (N.s/m)	466,67	<i>C</i> = <i>C</i> equivalente * (L/d)²

MÉTODO

4º) Dimensionamento e desenho dos componentes

1-Medição do Coeficiente de Elasticidade, “K”, das Molas.

Característica	“Mola 1”	“Mola 2”	“Mola 3”	“Mola 4”
Constante de Elasticidade (N/m)	$1,8 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^4$	$1,6 \cdot 10^4$	$5,7 \cdot 10^4$
Comprimento (m)	0,195	0,210	0,195	0,254
Diâmetro (m)	0,048	0,051	0,048	0,088

2-Acelerômetro - Limite de Freqüência (0Hz a 800Hz)

MÉTODO

4º) Dimensionamento e desenho dos componentes

3-Ajuste Preliminar:

- Freqüência Natural;
- Coeficiente de Elasticidade da Mola;
- Massa;
- Distâncias entre Componentes.

$$F = k \cdot x \therefore (m \cdot g) = k_{eq} \cdot x'$$

$$x' = \frac{(m \cdot g)}{k \cdot \left(\frac{D^2}{L^2}\right)}$$

$$\Phi = \tan^{-1}\left(\frac{x'}{D}\right)$$

$$x'' = \tan \Phi \cdot L$$

Onde:

x' é a deformação da mola, em m

x'' é o deslocamento na linha de ação da massa, em m

m é a massa adicionada ao sistema, em kg

L é a distância da massa até a origem do sistema, em m

D é a distância da mola até a origem do sistema, em m

k é a constante de elasticidade da mola, em N/m

k_{eq} é a constante de elasticidade da mola equivalente na

linha de ação da massa, em N/m

Φ é o ângulo formado pelo braço oscilante o suporte em “L”, em *radianos*

MÉTODO

4° Dimensionamento e desenho dos componentes

As posições do amortecedor (0,082m da origem) e da massa (0,910) da origem são fixas

1- Planilha de Cálculo

TABELA PARA CÁLCULO		
CONSTANTES		
g (m/s ²)	9,81	
ρ	2,14723524	
Considerando		
d (m)	0,082	Distância do Amortecedor Até a Origem
D (m)	0,173	Distância da Mola Até a Origem
L (m)	0,910	Distância da Massa Até a Origem
m (kg)	0,910	Massa Adicionada no Experimento de Bônus Coaxial
N (mm)	5700	Constante de Elasticidade da Mola
Resultados		
$k_{e,kg}$	2661,8	Constante de Elasticidade Equivalente no Centro de Ação da Massa
x'' (m)	0,205	Deflexão da Mola
θ (rad)	0,022	Ângulo de Rotação
x'' (m)	0,229	Amplitude da Linha de Ação da Massa
θ (rad)	0,022	Precessão Natural
		θ (graus) 1,27
		F (N) 0,71

2- Variação da Massa

D (m)	m (kg)	x'' (m)
0,205	1,15	0,017
0,205	3,65	0,055
0,205	6,15	0,093
0,205	8,65	0,130
0,205	11,15	0,168
0,205	13,65	0,205
0,205	16,15	0,243
0,205	18,65	0,281
0,205	21,15	0,318

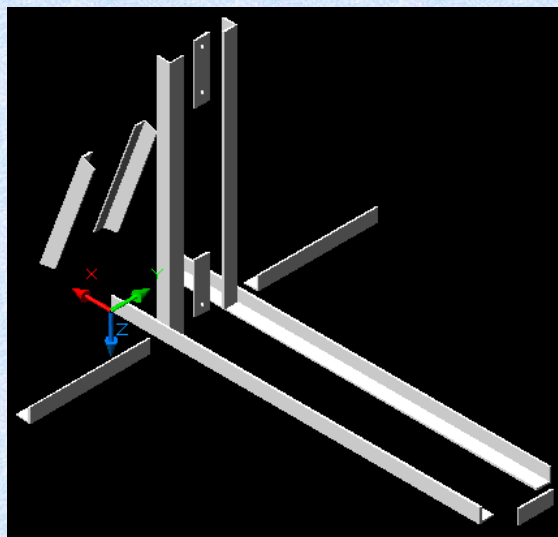
3- Variação da Posição da Mola

D (m)	m (kg)	x'' (m)
0,156	1,15	0,039
0,205	1,15	0,017
0,244	1,15	0,010
0,332	1,15	0,004
0,420	1,15	0,002
0,509	1,15	0,001
0,597	1,15	0,001
0,685	1,15	0,000
0,773	1,15	0,000
0,861	1,15	0,000

MÉTODO

5° Montagem

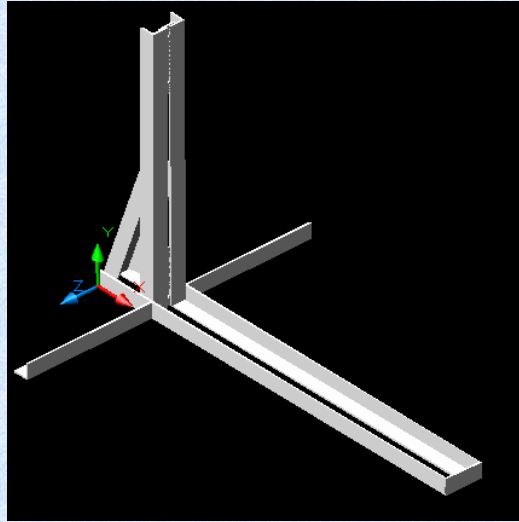
Suporte em "L"



MÉTODO

5° Montagem

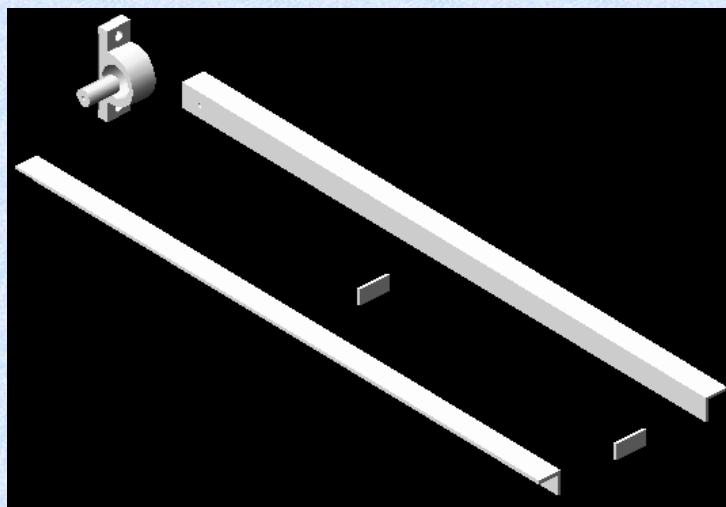
Suporte em "L"



MÉTODO

5° Montagem

Braço Oscilante



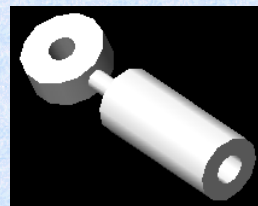
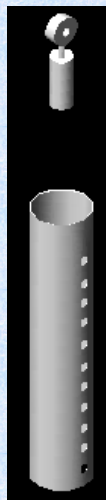
MÉTODO

5° Montagem Braço Oscilante



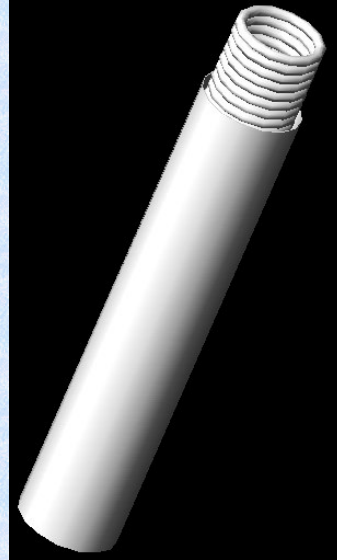
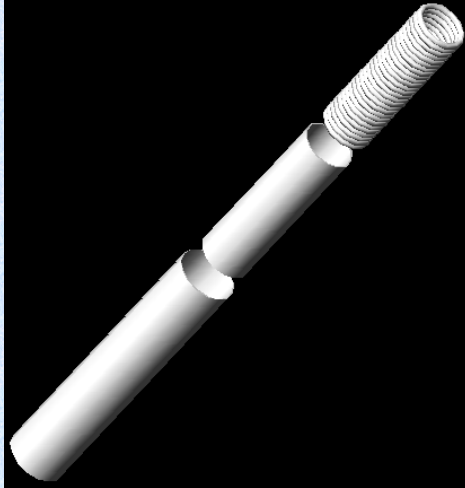
MÉTODO

5° Montagem Suporte para o Amortecedor



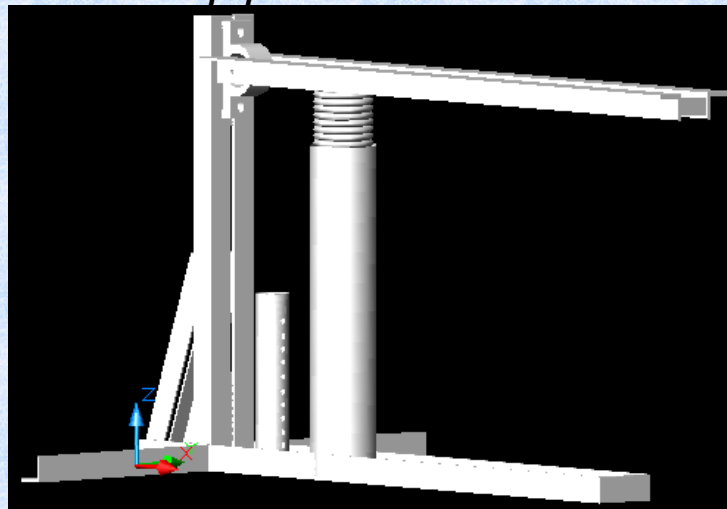
MÉTODO

5°) Montagem Fixação da Mola



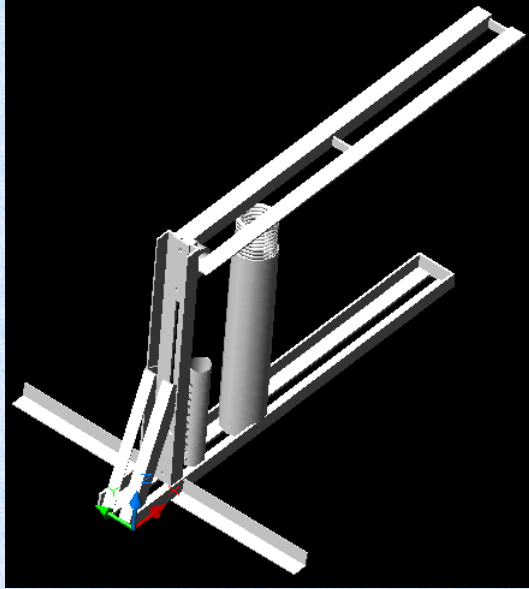
MÉTODO

5°) Montagem Equipamento Montado



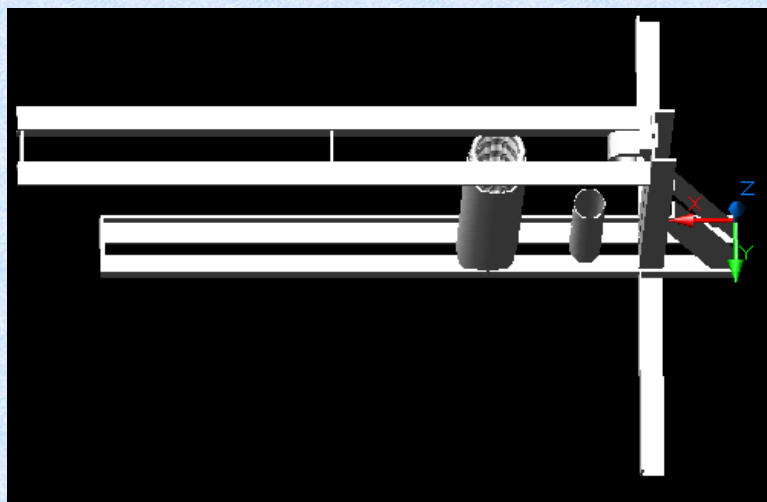
MÉTODO

*5° Montagem
Equipamento Montado*



MÉTODO

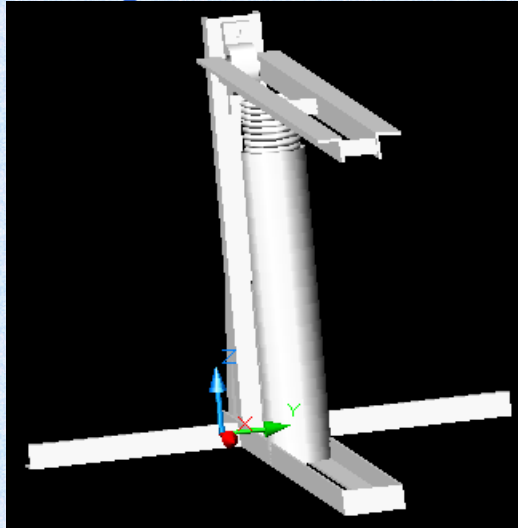
*5° Montagem
Equipamento Montado*



MÉTODO

5°) Montagem

Equipamento Montado



MÉTODO

6°) Teste e Resultados

Experimentalmente obteve-se:

- A amplitude, " X_0 ", de $12,8 \text{ m/s}^2$
- A amplitude, " X_n ", de $7,0 \text{ m/s}^2$
- A frequência natural amortecida, " q ", de $31,29 \text{ rad/s}$
- A frequência natural, " ω_n ", de $31,33 \text{ rad/s}$

Através dos cálculos obteve-se:

- O decremento logarítmico, " δ ", de 0,30
- O índice de amortecimento, " ζ ", de 0,05
- O coeficiente de amortecimento, " c ", de $4,3 \cdot 10^2 \text{ N.s/m}$

CONCLUSÃO

Do Objetivo Geral

Foi desenvolvido o equipamento que possibilita o cálculo dos coeficientes de amortecimento para amortecedores de carros e motos.

Dos Objetivos Específicos

- Obtenção o coeficiente de amortecimento de um amortecedor: $4,3 \cdot 10^2 \text{ N.s/m}$;
- Equipamento flexível e de fácil utilização;
- Foi apresentado um método de cálculo do coeficiente de amortecimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cofap. <http://www.cofap.com.br>. 2005

DANA. <http://www.dana.com.br>. 2005

Monroe. <http://www.sa-tenneco-automotive.com>. 2005

Webmotors. <http://www.webmotors.com.br>. 2005

IZILDO, Antunes. **Elementos de Máquina**. São Paulo : Érica, 1998. 296 p.

BEER, Ferdinand P. **Mecânica Vetorial para Engenheiros**. São Paulo : Pearson Education, 1991-1994. 2 v. : il.

DEN HARTOG, P. **Vibrações nos Sistemas Mecânicos**. São Paulo : E. Blücher, [19--]. 186 p. : il

FAIRES, Virgil Moring. **Elementos Orgânicos de Máquinas**. Rio de Janeiro : LTC, 1985. 1 v. e 2 v.

LARANJA, Rafael A. C., **Mecânica Vibratória**. Canoas : Ulbra. 2004.

MERIAM, James L. **Dinâmica**. Rio de Janeiro : LTC, 1976. 508 p. : il.

PRODONOFF, Victor. **Vibrações Mecânicas: Simulação e Análise**. Rio de Janeiro : Maity Comunicação, 1990. 220 p

RAO, S. S. **Mechanical Vibration**. New York : Mc Graw-Hill, 1995.

SARKIS, Melconian. **Elementos de Máquinas**. São Paulo : Érica, 2003. 358 p

WOLTER, C., SAMPAIO, R. & CATALDO, E. **Vibrações Mecânicas**. AEB – Agência Espacial Brasileira, 1998.