

INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS
CAMPUS AVANÇADO ARCOS
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO ACADÊMICO INTEGRADOR

MOVIMENTO DA MOLA EM AMORTECIMENTO

DENYS BARSANTE FERNANDES
DIEGO HENRIQUE FERREIRA
GABRIEL AGNELLI DE ALMEIDA
JOSÉ REGINALDO DA CUNHA JUNIOR
LUCAS MATEUS

ARCOS

29 de novembro de 2017

DENYS BARSANTE FERNANDES
DIEGO HENRIQUE FERREIRA
GABRIEL AGNELLI DE ALMEIDA
JOSÉ REGINALDO DA CUNHA JUNIOR
LUCAS MATEUS

MOVIMENTO DA MOLA EM AMORTECIMENTO

Projeto apresentado à disciplina de Trabalho Acadêmico Integrador II do curso
de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Minas Gerais, Campus
Avançado Arcos

ARCOS-MG
2017

Resumo

Durante a condução de um veículo, as irregularidades da pista provocam nas rodas movimentos verticais. Em resposta as essas irregularidade, a roda oscila verticalmente a uma determinada aceleração. A oscilação da roda pode ser analisada através da amplitude e da frequência com que essa sobe e desce rapidamente. A rigidez das molas determina a frequência e amplitude máxima dos movimentos verticais da suspensão. Se este terá uma configuração voltada para o conforto ao rodar, admitindo certo nível inclinação da carroceria ou se este será um pouco mais rígido, permitindo respostas rápidas e precisas e permitindo, também, que o motorista tenha um certo desconforto. Essa oscilação é transmitida da roda para a suspensão e desta para a carroceria, ou seja, da massa não suspensa para a massa suspensa. O quão essa oscilação é transmitida é determinado pela constante da mola. A engenharia busca um compromisso da frequência de oscilação da roda com a maciez da suspensão, de forma que esta não atinja níveis elevados a ponto de comprometer o conforto do veículo. Quanto maior oscilação, maior será a frequência e esses atributos caracterizam as molas de elevada constante. Por outro lado, se a oscilação é menor, baixa aceleração da roda em seu movimento vertical, menor será a frequência de oscilação da roda, o que significa dizer que uma mola de baixa constante está sendo utilizada. A engenharia determina, durante a concepção do projeto, as características da mola. Uma vez determinadas, o comportamento fundamental do veículo está definido. As molas acumulam a energia dos impactos da pista sobre a roda de acordo com a constante da mola, e a partir desta determina-se se o veículo é mais voltado para o conforto ou para dirigibilidade.

Palavras-Chave: Mola, Suspensão, Engenharia, Modelagem 3D.

Lista de Figuras

1	Mola de Flexão	8
2	Mola de Torção	9
3	Mola Helicoidal	9
4	Gráfico dos tipos de Amortecimentos	11
5	Gráfico do Movimento Harmônico Simples	12
6	Gráfico do Movimento Harmônico Amortecido	12
7	Vista Frontal da Mola	14
8	Vista Superior da Mola	14
9	Força aplicada sobre a mola	18
10	Mola antes da aplicação da força	18
11	Distorsão da mola causada pela força	19
12	Velocidade da mola	19

Lista de Tabelas

1	Tabela do módulo de elasticidade transversal de materias	13
2	Média da massa populacional brasileira acima de 18 anos	15

Lista de Símbolos

g	=	gravidade na terra = 9.81m/s^2
H	=	Altura
A	=	Área
r	=	Raio da circunferência
p	=	Perímetro
v	=	Volume
σ	=	Incerteza Padrão Combinada m = Massa
F	=	Força
RM	=	Resultado de Medição
g	=	Aceleração da gravidade
I	=	Média das indicações
F_{el}	=	Força Elástica
F_p	=	Força Peso
Γ	=	Trabalho
t	=	Tempo
G	=	Módulo de elasticidade transversal
K	=	Constante de mola
D	=	Diâmetro externo
P_e	=	Ponto de Equilíbrio
R	=	Raio Externo
d	=	Diâmetro do arame
μ	=	Média da População
S	=	Desvio padrão
n	=	Número de elementos // Número de elos trabalhando
R	=	Resolução
μ_f	=	Média da massa população feminina
μ_m	=	Média da massa população masculina
Δx	=	Deslocamento
E_c	=	Energia Cinética
E_{pg}	=	Energia Potencial Gravitacional
E_{pe}	=	Energia Potencial Elástica

Sumário

1	INTRODUÇÃO	7
1.1	OBJETIVOS	7
1.2	JUSTIFICATIVA	7
2	DESENVOLVIMENTO	8
2.1	MOLA DE FLEXÃO	8
2.2	MOLAS DE TORÇÃO	8
2.3	MOLA HELICOIDAL	9
2.4	LEI DE HOOKE	10
2.5	ENERGIA POTENCIAL ELÁSTICA E TRABALHO REALI- ZADO PELA FORÇA ELÁSTICA	10
2.6	TIPOS DE AMORTECIMENTOS	10
2.7	MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES	11
2.8	MOVIMENTO HARMÔNICO AMORTECIDO	12
3	METODOLOGIA	13
3.1	CONTEXTO	13
3.2	DETERMINAÇÃO DE DADOS	15
3.2.1	CÁLCULO DO DESLOCAMENTO E NOVO PONTO DE EQUILÍBRIO DA MOLA	16
3.2.2	CÁLCULO DO VOLUME E MASSA DA MOLA	17
3.3	PROBLEMATIZAÇÃO DO CASO	18
4	RESULTADOS	20
5	CONCLUSÃO	21
6	BIBLIOGRAFIA	22
7	APÊNDICES	23
7.1	INCERTEZA DO VOLUME DA MOLA	23
7.1.1	CÁLCULO DA INCERTEZA	24

1 INTRODUÇÃO

1.1 OBJETIVOS

Baseado em uma mola helicoidal com dimensões de 68,14x52,14x270mm e com base nos conhecimentos adquiridos ao decorrer do segundo semestre do curso de Engenharia Mecânica do Campus Avançado Arcos, o objetivo do trabalho foi selecionado para mostrar o movimento da mola em um sistema de amortecimento. Através de modelagem 3D realizada no software Solid Works.

1.2 JUSTIFICATIVA

A justificativa do trabalho é relacionar os conhecimentos adquiridos por todas as matérias referentes ao segundo semestre de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Minas Gerais, Campus Avançado Arcos, e relacionar os mesmo com assuntos que o curso abrange para a criação de uma modelagem 3D para o estudo.

2 DESENVOLVIMENTO

Nessa parte será definido alguns conceitos para o melhor entendimento do contexto abordado e estudo do mesmo.

2.1 MOLA DE FLEXÃO

As molas de flexão são componentes mecânicos bastante conhecidos na indústria automobilística. Antes do automóvel, elas já eram utilizadas nas carruagens para atenuar os impactos sofridos pelas rodas. Entretanto, as molas de flexão são as mais complexas de se projetar em relação as molas de torção e molas helicoidais. As molas de flexão possuem diversas variáveis a serem levadas em consideração no seu projeto. A largura, espessura, quantidade de lâminas, pontos de ancoragem das lâminas e o ângulo do elo são fatores que influenciam na constante da mola. (Ex. Caminhões, picapes, alguns muscle cars, etc.)

Figura 1: Mola de Flexão



Fonte: <<http://www.refaco.ind.br/imagens/produtos/molas-02.jpg>>. Acesso : 29 de novembro de 2017

2.2 MOLAS DE TORÇÃO

As barras de torção são encaixadas no chassi ou na carroceria, estrias na extremidade da barra impedem esta de girar dentro do apoio. Na outra extremidade o braço de suspensão aplica a força proveniente dos impactos sofridos pela roda. Quando a roda sofre um impacto, esta sobe fazendo o braço de suspensão acompanhar o movimento. Como o braço de suspensão está ligado a barra de torção, aquele exerce nesta, uma força. Devido ao fato da barra estar fixa em apenas uma extremidade, ocorre uma torção. O mesmo ocorre no sentido inverso, a roda desce e o braço também. A torção, portanto, ocorre de modo inverso no movimento descendente da roda. (Ex. Formula 1, Fusca, alguns Pumas, Brasília, alguns Gurgeis)

Figura 2: Mola de Torção



Fonte: <<http://www.mixmolos.com.br/images/produtos/imgg/fotog-98.jpg>>. Acesso : 29 de novembro de 2017

2.3 MOLA HELICOIDAL

Durante o deslocamento do veículo, quando a roda recebe um impacto proveniente do solo, a própria se desloca verticalmente, elevando o braço de suspensão. Assim a mola é comprimida por uma força, neste caso, a força do impacto na roda. A mola helicoidal é comprimida, a força aplicada a mola gera esforços por todas as suas espiras.

Analisando estas internamente, é possível notar que dois esforços agem nos arames da mola. Uma força constante e um torque agem em cada arame das espiras, a força cortante evita o movimento linear, enquanto que o torque (no sentido anti-horário) impede a rotação da espira em torno do eixo da mola. O torque gira o arame da mola quando uma carga é aplicada a mola. Ocorre uma deformação angular de cada arame da espira. A resultante dessas deformações e da força cortante de cada espira, movimentam-as linearmente. A mola helicoidal, portanto, se deforma linearmente quando uma carga é aplicada. (Ex. quase todos veículos)

Figura 3: Mola Helicoidal



Fonte: <<http://www.suspentech.com.br/imagens/produto/st079-mola-helicoidal-55648.jpg>>. Acesso : 29 de novembro de 2017

2.4 LEI DE HOOKE

A lei de Hooke determina que a intensidade da força elástica (F_{el}) é proporcional à deformação "x", na qual sua expressão é dada por:

$$F_{el} = K * x \quad (1)$$

Onde K é a constante elástica da mola e "x" significa a deformação sofrida pela mola. A unidade da constante elástica da mola no Sistema Internacional é $\frac{N}{m}$. Na forma vetorial, a fórmula muda pois a constante elástica tem sinal negativo em razão que o vetor da força elástica atua no sentido contrário ao vetor deformação "x". Ficando expressa por :

$$F_{el} = -K * x \quad (2)$$

2.5 ENERGIA POTENCIAL ELÁSTICA E TRABALHO REALIZADO PELA FORÇA ELÁSTICA

A energia associada a deformação de um corpo recebe o nome de energia potencial elástica. Para uma mola (ou um elástico), a energia potencial elástica é calculada pela seguinte expressão :

$$E_{pe} = \frac{K * x^2}{2} \quad (3)$$

Onde assim como na Lei de Hooke, K é a constante elástica da mola e "x" a deformação sofrida pela mola. Esse tipo de energia corresponde ao trabalho que a força elástica (variável) realiza, assim como, a energia cinética é associada ao conceito de movimento e a energia potencial gravitacional diz respeito ao conceito de altura de uma partícula em relação a um plano de referência.

A energia armazenada no corpo (nesse caso, a mola) é a energia potencial, também conhecida como energia de posição, que é um tipo de armazenamento de energia dos corpos em virtude do seu posicionamento, ou seja, o sistema ou o corpo podem possuir forças interiores capazes de modificar suas posições relativas e suas diferentes partes para chegar ao objetivo (realizar trabalho). Mas como essa energia armazenada está diretamente ligada a mola, chamamos esse evento de Energia potencial elástica, no qual o armazenamento de energia ocorre na interação entre a mola e um corpo. A expressão do trabalho é também dada por :

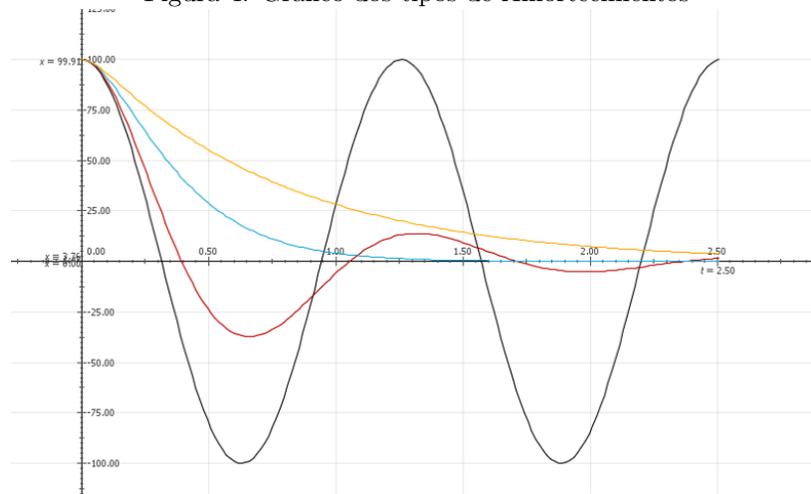
$$\Gamma = \frac{K * x^2}{2}$$

2.6 TIPOS DE AMORTECIMENTOS

Há quatro tipos de amortecimentos, que são : Não amortecido, amortecimento sub-crítico, amortecimento crítico e amortecimento super-crítico. O tipo que se refere a não amortecido, a mola, depois de uma força aplicada, oscila permanentemente entre dois valores fixos, não há dispersão da energia.

Os amortecimentos sub-críticos, críticos e super-críticos são diferenciados através da quantidade de energia dissipada pelo tempo. O gráfico acima mostra o deslocamento pelo tempo de cada tipo de amortecimento.

Figura 4: Gráfico dos tipos de Amortecimentos



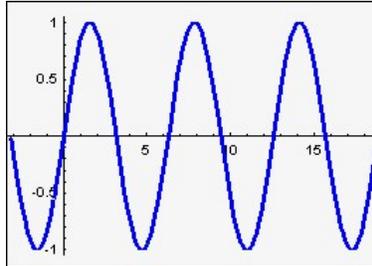
Fonte: Próprios autores

2.7 MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES

O movimento harmônico simples (MHS) é um movimento que teoricamente nunca pararia e diminuiria a suas oscilações, mas na prática isto é sempre aproximado porque por mais que diminua todas as variações para manter sempre os valores constantes, laboralmente é um procedimento difícil manter os fatores constantes como a força e a constante elástica da mola, desprezar o atrito com estes e outros fatores controlados esta mola mantém o movimento. Este é o movimento natural de uma mola, pois a mola não dissipa a energia que foi aplicada sobre ela e se mantém oscilando, mais usual nos casos em que é necessário conservar o movimento (Ex. Pendulos).

Com base neste estudo de MHS podemos determinar o alongamento máximo da mola, para então construir a mola que transmitirá maior conforto para seus ocupantes e eficiência em amortecimento, pois é com os dados extraídos deste estudo que pode-se tirar as conclusões capazes de determinar o limite entre o maior conforto e maior eficácia de amortecimento sem que seja necessário redimensionar os outros locais e fatores de um sistema de amortecimento e prejudicar um em relação ao outro.

Figura 5: Gráfico do Movimento Harmônico Simples

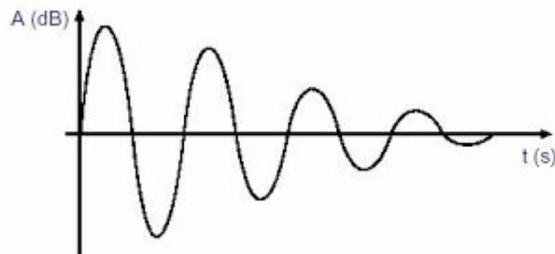


Fonte: Próprios autores.

2.8 MOVIMENTO HARMÔNICO AMORTECIDO

O movimento harmônico amortecido (MHA) é o tipo de movimento presente nas suspensões de veículos, pois este movimento é o essencial para aliar conforto com eficiência de amortecimento, como constatado nos cálculos vimos que este amortecimento vai diminuindo gradativamente a força que foi aplicada sobre o sistema, assim quando é necessário que este movimento seja mais suave e não tenha um grande deslocamento é necessário que a constante elástica (K) seja um parâmetro maior do que o do MHS, quanto mais se aumentar a constante elástica mais dura é a mola e conseqüentemente mais energia precisa se aplicada sobre esta mola. Neste estudo foi encontrado uma constante elástica que transmite maior conforto para a média de ocupantes em carros no Brasil, assim obtivemos uma determinada mola que pode ser utilizada em um veículo que mantém o maior conforto aliado a melhor eficiência de amortecimento.

Figura 6: Gráfico do Movimento Harmônico Amortecido



Fonte: <<http://3.bp.blogspot.com/>>. Acesso : 29 de novembro de 2017

3 METODOLOGIA

3.1 CONTEXTO

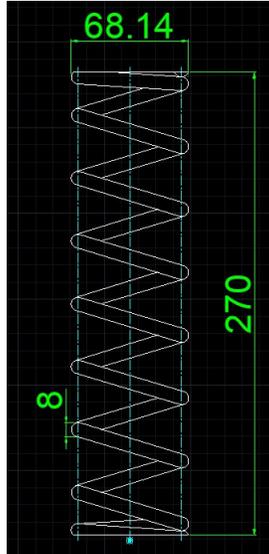
Uma mola de aço, para uma suspensão, no qual o módulo de elasticidade transversal do aço é de 75GPa. Com as dimensões do diâmetro externo de 68,14mm, interno 52,14mm e de comprimento com 270mm. Também contando com 9 elos.

Tabela 1: Tabela do módulo de elasticidade transversal de materias

Materias		Densidade (mg/m ³)	Módulo de elasticidade	
			E (GPa)	transversal G (GPa)
Ligas de Alumínio Forjado	2014-T6	2,79	73,1	27
	6061-T6	2,71	68,9	26
Ligas de Ferro Fundido	cinza ASTM 20	7,19	67,0	27
	Maleável ASTM A-197	7,28	172	68
Ligas de Cobre	Latão vermelho C83400	8,74	101	37
	Bronze C86100	8,83	103	38
Ligas de Magnésio	Am 1004-T61	1,83	44,7	18
Ligas de Aço	Estrutural A-36	7,85	200	75
	Inoxidável 304	7,86	193	75
	Aço-ferramenta L2	8,16	200	75
Ligas de Titânio	Ti-6Al-4V	4,43	120	44

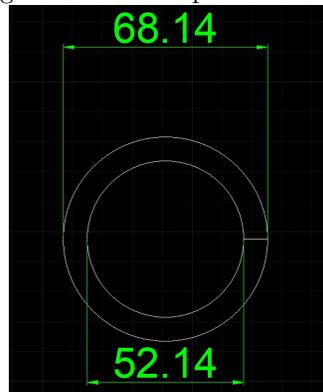
Fonte: <<http://www.profwillian.com/materias/propriedades.asp>>. Acesso : 29 de novembro de 2017

Figura 7: Vista Frontal da Mola



Fonte: Próprios autores

Figura 8: Vista Superior da Mola



Fonte: Próprios autores.

Testando quatro molas, para simular o sistema do carro, no qual há duas molas frontais e duas traseiras, e tendo a massa aplicada exatamente no centro de massa das quatro molas, desejando saber o peso máximo que as quatro molas suportam juntas. Para saber isso, primeiramente deve se encontrar o coeficiente elástica da mola, que pode ser encontrado através da fórmula :

$$K = \frac{G * d^4}{64 * n * R^3} \quad (4)$$

$$K = \frac{(75 \cdot 10^9) \cdot (8 \cdot 10^{-3})^4}{64 \cdot 7 \cdot (34,07 \cdot 10^{-3})^3} \quad K = \frac{307,2}{0,017717172} \quad K = 17339,1098 \frac{N}{m}$$

Com a constante elástica da mola, é possível saber a força máxima que ela pode receber, descobrindo o Δx máximo da mola. Para isso é necessário multiplicar a quantidade de elos, descontando os elos que servem como base, pelo diâmetro do arame da mola, e com esse resultado subtrair do comprimento total da mola.

$$\Delta x = 270 - (7 \cdot 8) \quad \Delta x = 214mm \quad (5)$$

Com esses resultados basta substituí-los na fórmula de força elástica.

$$F_{el} = K \cdot \Delta x \quad F_{el_{max}} = 17339,1098 \cdot 0,214 \quad F_{el_{max}} = 3710,569496N \quad (6)$$

3.2 DETERMINAÇÃO DE DADOS

”A liderança do Chevrolet Onix no ranking dos modelos 0 km mais vendidos no Brasil” (Fenabreve, 2017), cujo o mesmo foi escolhido como base para a massa materializada sobre as quatro molas, equivalendo 1012kg e localizado no centro de massa das 4 molas. Pesquisando foi encontrado a média da massa da população brasileira, e foi selecionado somente a parte da população que possui mais de dezoito anos, já que segundo o Art. 140 do Código de Trânsito Brasileiro - Lei 9503/97, diz que somente cidadãos maiores de dezoito anos e portados da Carteira Nacional de Habilitação. A tabela da média da massa populacional brasileira foi a seguinte: Tendo a média da população brasileira masculina e

Tabela 2: Média da massa populacional brasileira acima de 18 anos

Médias de altura e peso da população				
Idade e grupos de idade	Altura média (cm)		Peso médio (kg)	
	Homens	Mulheres	Homens	Mulheres
18 anos	172,6	161,1	65,3	55,4
19 anos	172,0	161,2	65,9	56,2
20 a 24 anos	173,0	161,1	69,4	57,8
25 a 29 anos	173,0	160,7	72,7	60,5
30 a 34 anos	171,6	160,0	74,2	62,0
35 a 44 anos	171,0	159,4	74,6	63,8
45 a 54 anos	169,9	158,3	74,6	65,1
55 a 64 anos	168,2	156,6	73,1	65,3
65 a 74 anos	166,9	155,0	70,3	63,4
75 anos e mais	165,7	152,8	66,8	59,2

Fonte: IBGE 2008/09

feminina e população geral do brasil, de 18 a 75 dada por:

$$\mu_m = \frac{65,3+65,9+69,4+72,7+74,2+74,6+74,6+73,1+70,3+66,8}{10}$$

$$\mu_m = 70,69kg$$

$$\mu_f = \frac{55,4+56,2+57,8+60,5+62+63,8+65,1+65,3+63,4+59,2}{10}$$

$$\mu_f = 60,78kg$$

$$\mu = \frac{70,69 + 60,87}{2} \quad \mu = 65,87kg \quad (7)$$

Segundo a pesquisa da Companhia de Engenharia de Tráfego (CET), "a média de pessoas por carro em São Paulo é de 1,4 pessoas", e por ser uma média discreta, não admitindo valores não inteiros, já que não existe o termo 'uma pessoa e 2/5 de outra', a média do valor de pessoas por automóvel foi admitido como 2.

3.2.1 CÁLCULO DO DESLOCAMENTO E NOVO PONTO DE EQUILÍBRIO DA MOLA

Com a fórmula $F_e = K * x$, conseguimos comprovar que a força máxima da mola, é maior que a força gerada na mola com o peso da massa materializada e com passageiros. Encontrando assim também, o novo ponto de equilíbrio da mola, no qual será o local onde a $F_p = F_e$, tendo assim um equilíbrio. Sendo assim :

$$F_e = -K*x \rightarrow x = \frac{F_e}{-K} \rightarrow x*(-K)*(-K^{-1}) \rightarrow x*I = F_e*(-K^{-1}) \rightarrow x = F*(-K^{-1}) \quad (8)$$

Admitindo a força gerada pela massa materializada, massa com a média de passageiros (2 passageiros) e com cinco passageiros, se obtém os seguintes resultados :

$$F_p = \frac{1012 * 9,81}{4} \quad F_p = 2471.93N \quad (9)$$

$$F_{p2} = \frac{(1012 + 65,87 * 2) * 9,21}{4} \quad F_{p2} = 2805.66N \quad (10)$$

$$F_{p5} = \frac{(1012 + 65,87 * 5) * 9,81}{4} \quad F_{p5} = 3291.255N \quad (11)$$

Utilizando essas forças e colocando-as na matriz, sabendo que a força só está aplicada sobre o eixo y, se obtém a seguinte resultado :

$$-K^{-1}*F = x$$

$$\begin{pmatrix} -0,000057673 & 0 & 0 \\ 0 & -0,000057673 & 0 \\ 0 & 0 & -0,000057673 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 0 & 3291.255 & 0 \\ 0 & 2805.66 & 0 \\ 0 & 2481.93 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -0,0,189816550 & 0 \\ 0 & -0,0,161810829 & 0 \\ 0 & -0,142563619 & 0 \end{pmatrix}$$

Sabendo que o Δx_{max} da mola é de 0,214m, o intervalo de x dado só pode ser de : $-0.214m < x < 0.214m$. Obtendo resultados fora desse intervalo, significa que a força aplicada na mola é maior que a força máxima suportada pela mola. Isso mostra que a massa materializada somada à massa de cinco passageiros, a mola sofre uma deformação de 0,190m aproximadamente.

O "x" encontrado também significa o novo ponto de equilíbrio da mola, já que a força resultante é nula e a deformação gerada pela mola é variação de distância necessária para equilibrar a força peso com a força elástica. Tendo assim a fórmula para o módulo do novo ponto de equilíbrio e o módulo da variação do deslocamento:

$$\Delta x = \frac{57673 * F}{1000000000} \quad (12)$$

3.2.2 CÁLCULO DO VOLUME E MASSA DA MOLA

Para calcular o volume da mola, é necessário descobrir a área da circunferência do arame, multiplicar pelo perímetro da circunferência do círculo médio do diâmetro externo e interno. Tendo assim :

$$r_{Cm} = \frac{34,07 + 26,07}{2} \quad r_{Cm} = 30,07mm \quad (13)$$

Para achar o perímetro dessa circunferência é necessário realizar a seguinte operação:

$$p = 2 * \pi * r_{Cm} \quad p = 0,188935382m \quad (14)$$

Calculando a área da circunferência do arame, se obtêm a seguinte fórmula:

$$A = \int_0^r f(x) \rightarrow A = \int_0^r \sqrt{r^2 - x^2} dx \rightarrow A = 4 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{r^2 - r^2 * \cos^2 \theta} d\theta \rightarrow \quad (15)$$

$$A = 4 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos \theta * r \cos \theta d\theta \rightarrow A = 4r \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos^2 \theta d\theta \rightarrow A = 4r^2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{1 + \cos 2\theta}{2} d\theta$$

$$A = 2r^2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} 1 + \cos 2\theta d\theta \quad (16)$$

Realizando a integral se obtém o seguinte resultado:

$$A = \pi * r^2 \quad A = \pi * 0,004^2 \quad A = 0,00005026549m^2 \quad (17)$$

Agora para encontrar o volume da mola, basta mutiplicar a área do arame pelo perímetro encontrado anteriormente e multiplicar pela respectiva quantidade de elos da mola.

$$v = 0,00005026549 * 0,188935382 * 7 \quad v = 6,65 * 10^{-5}m^3 \quad (18)$$

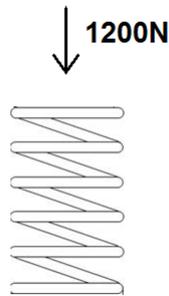
A densidade do aço é de $7830 \frac{Kg}{m^3}$, tendo a massa da mola dada pela expressão:

$$m = d * v \quad m = 7830 * 6,65 * 10^{-5} \quad m = 0520695Kg \quad (19)$$

3.3 PROBLEMATIZAÇÃO DO CASO

Desejando saber o trabalho realizado pela mola e o deslocamento da mesma, foi aplicado uma força vertical de 1200N sobre a mola que agiu por 3 segundos na mola.

Figura 9: Força aplicada sobre a mola



Fonte: Próprios autores

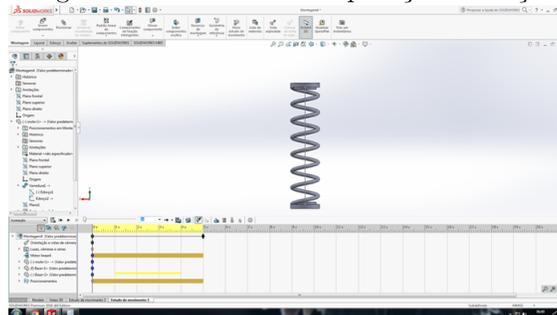
Primeiramente é necessária saber a deformação causada por essa força, para isso é necessário usar a fórmula que foi disponibilizada anteriormente, a fórmula (12).

$$\Delta x = \frac{57673 * F}{1000000000}$$

$$\Delta x = \frac{57673 * 1200}{1000000000}$$

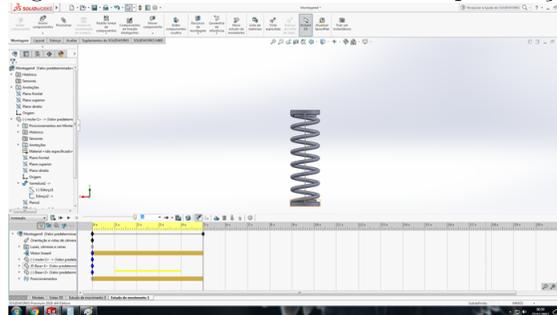
$$\Delta x = 0,0692076m \quad (20)$$

Figura 10: Mola antes da aplicação da força



Fonte: Próprios autores.

Figura 11: Distorsão da mola causada pela força



Fonte: Próprios autores.

Com esse dado é possível encontrar o trabalho realizado pela mola, como visto na fórmula de trabalho que é dada por :

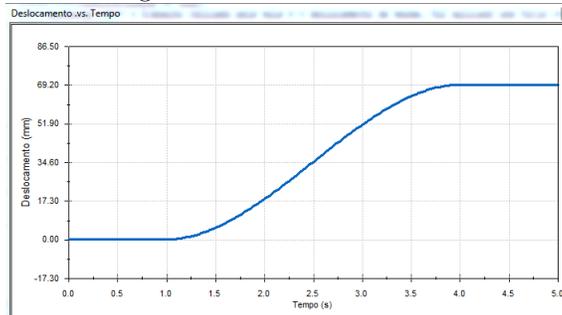
$$\Gamma = \frac{K * x^2}{2} \quad (21)$$

$$\Gamma = \frac{17339,1098 * 0,0692076^2}{2}$$

$$\Gamma = 41,40J$$

O próprio software (Solid Works), automaticamente gera um gráfico para a velocidade da mola, e foi obtido o seguinte gráfico:

Figura 12: Velocidade da mola



Fonte: Próprios autores.

4 RESULTADOS

A mola usada, para carro de médio/pequeno porte, mostrou um funcionamento relativamente positivo, já que ela suporta a força necessária para aguentar o peso do carro com cinco passageiros.

Pela mola não ter elos servindo como base, a constante elástica da mola acabou sendo menor, já que para encontrar a constante elástica, o número de elos em funcionamento é um denominador.

A mola sofre uma deformação gerada somente pela massa do veículo (em um estado parado), e acaba tendo um ponto de equilíbrio mudado, já que a energia cinética da mola se iguala com a energia potencial gravitacional do carro.

O movimento da mola em um amortecimento não depende somente da mola, já que o que difere os tipos de energia é a taxa de dispersão de energia pelo movimento e grande parte disso é dispersado em grande quantidade por outras partes da suspensão, a dispersão de energia da mola está relacionada a inércia da mola e o atrito dela com a massa sobreposta.

5 CONCLUSÃO

A conclusão obtida foi que os fatores da mola que mudam o amortecimento é sua constante elástica, já que através da constante elástica é escolhido o material da mola, o número de elos e o diâmetro externo e do arame da mola. Por essa mola não apresentar elos servindo como base, todos os elos da mola estão em funcionamento para o amortecimento.

Com conhecimentos relativamente simplórios é possível ter uma noção de como a mola se comporta em um sistema de amortecimento. Porém isso é possível desprezando fatores de conhecimentos mais profundos sobre o assunto, como fadiga da mola, vibração, a suspensão (já que possui fluídos), além de contar com uma massa distribuída de maneira igualitária no carro (fazendo o carro ser tração integral).

6 BIBLIOGRAFIA

- WIKIPÉDIA. **Chevrolet Onix**. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Chevrolet_Onix>. Acesso em: 27 nov. 2017.
- G1. **Metade dos adultos brasileiros está acima do peso, segundo IBGE**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/brasil/noticia/2010/08/metade-dos-adultos-brasileiros-esta-acima-do-peso-segundo-ibge.html>>. Acesso em: 27 nov. 2017.
- Os Mais Vendidos Em 2017**. Disponível em: <<https://quatorrodas.abril.com.br/os-mais-vendidos-em-2017/>>. Acesso em: 27 nov. 2017.
- VOITCH, Guilherme. **São Paulo tem média de 1,4 ocupante por carro**. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/brasil/sao-paulo-tem-media-de-14-ocupante-por-carro-2695421>>. Acesso em: 27 nov. 2017.
- Tipos de Aços**. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/BenhurDemetrius/tipo-de-aos>>. Acesso em: 27 nov. 2017.
- HIBBELER, R.C. **Resistência dos materiais**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004.
- ALVES DOS SANTOS, Talita. **Lei de Hooke**. Disponível em: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/lei-hooke.htm>>. Acesso em: 27 nov. 2017
- LIMA DE SOUZA, Nelson. **Energia potencial elástica**. Disponível em: <<http://educacao.globo.com/fisica/assunto/mecanica/energia-potencial-elastica.html>>. Acesso em: 27 nov. 2017.
- UBIRAJARA SALÍCIO, Claudio; AUGUSTO DE CASTRO SPEGIORIN, Daniel; RICARDO VALENTE, Welton. **Determinação da Constante Elástica de uma Mola**. Disponível em: <http://www.cienciamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=pmdcod=_pmd2005_0402>. Acesso em: 27 nov. 2017.
- CORREA MARQUES DA SILVA, Domiciano. **Período e constante elástica**. Disponível em: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/periodo-constante-elastica.htm>>. Acesso em: 27 nov. 2017.
- Elementos de um Sistema Mecânico**. Disponível em: <https://www.ime.usp.br/oda/contents/01Matem%E1tica/01Sistemas%20Din%E2micos/04_Elem_Sist_Mec.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2017.
- Tabelas Térmicas**. Disponível em: <http://www.feiradeciencias.com.br/sala08/08_44.asp>. Acesso em: 27 nov. 2017.
- Trabalho de uma força**. Disponível em: <<http://fisicaevestibular.com.br/novo/mecanica/dinamica/trabalho-de-uma-forca/>>. Acesso em: 27 nov. 2017.
- STEWART, James. **Cálculo**. 7. ed. 2013. 5 p. v. 1.
- ANTON, Howard; RORRERS, Chris . **Álgebra Linear**. 10. ed. 2013. 760 p. v. 1.
- LARSON, Ron; FARBER, Besty. **Estatística Aplicada**. 6. ed. 2015. 760 p. v. 1.
- WALKER, Jearl. **Trabalho Realizado Pela Força elástica**. In: WALKER, Jearl. Fundamentos de Física. 8. ed. L.T.C, 2007. cap. 7, p. 162-165. v. 1. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/AndressaKuibida/fundamentos-da-fisica-vol-1-mecanica-halliday>>. Acesso em: 27 nov. 2017.
- FENABRAVE, **Veja 10 carros e motos mais vendidos em outubro de 2017**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/carros/noticia/veja-10-carros-e-motos-mais-vendidos-em-outubro-de-2017.ghtml>>. Acesso em: 27 nov. 2017.

7 APÊNDICES

7.1 INCERTEZA DO VOLUME DA MOLA

Quando efetuamos uma operação matemática sobre uma medida que apresenta incerteza, o resultado a ser obtido apresentará uma incerteza final que dependerá da incerteza da grandeza primária. Caso desejemos determinar uma grandeza que depende de várias medidas, as incertezas de todas as medidas irão influir no resultado final. De que forma as incertezas das grandezas primárias irão influir na incerteza da grandeza a ser determinada? Como sabemos, o volume de um cilindro é dado pela fórmula:

$$V = \pi * r^2 * H \quad (22)$$

Onde R e H são o raio e a altura do cilindro, respectivamente. Fica claro, que a incerteza no volume do cilindro depende tanto da incerteza do raio quanto da incerteza da altura do mesmo. O raio e a altura influirão da mesma maneira na incerteza do volume? A resposta é não, pois o volume do cilindro varia com o raio R de uma maneira diferente do que varia com a altura H. Dessa forma, a influência do raio e da altura será diferente no resultado final. Pode-se mostrar que a incerteza σ_w de uma grandeza hipotética $w = w(x,y,z,...)$, que depende das variáveis x, y, z, \dots , é dada pela fórmula:

$$\sigma_w^2 = \left(\frac{\delta w}{\delta x}\right)^2 * \sigma_x^2 + \left(\frac{\delta w}{\delta y}\right)^2 * \sigma_y^2 \dots \quad (23)$$

Onde os termos dentro dos parênteses são derivadas parciais da função $w = w(x,y,z,...)$ com relação as variáveis x, y, z, \dots . A soma quadrática pode ser justificada pelo fato de que não seria razoável somá-las simplesmente, porque isto implicaria dizer que cada vez que o efeito da grandeza x estivesse no seu extremo, as demais também deveriam estar. Faria menos sentido ainda combiná-las com uma subtração, uma vez que quando combinamos várias grandezas primárias com incertezas, o resultado final deve ter uma incerteza maior e não menor. Ainda no exemplo do cálculo do volume do cilindro, a incerteza no cálculo volume σ_V é dada pela expressão:

$$\sigma_v = \sqrt{\left(\frac{\sigma V}{\sigma R}\right)^2 + \left(\frac{\sigma V}{\sigma H}\right)^2} \quad (24)$$

Isto é, a incerteza no cálculo do volume pode ser expressada em termos das incertezas relativas do raio e volume σ_V / R e σ_V / H , respectivamente. Muitas vezes é mais vantajoso trabalharmos com as incertezas relativas, como fizemos acima, pois simplifica os cálculos e deixa clara a influência da incerteza de cada uma das medidas no valor da incerteza da medida final.

$$\frac{\sigma_v}{V} = \sqrt{\left(2 * \frac{\sigma_R}{R}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_H}{H}\right)^2} \quad (25)$$

7.1.1 CÁLCULO DA INCERTEZA

Utilizando os conhecimentos previamente ditos, foi obtido os segundos resultados:

$$\frac{\sigma_V}{6,65 * 10^{-5}} = \sqrt{2 * \left(\frac{0,007}{0,0300}\right)^2 + \left(\frac{0,0223}{1,3000}\right)^2} \quad \sigma_V = 0,33063 * 10^{-5} m^3 \quad (26)$$

Tendo o resultado de medição final de :

$$RM = (6,65000 \pm 0,33063) * 10^{-5} m^3 \quad (27)$$