

UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL
ENGENHARIA MECÂNICA AUTOMOTIVA

***MECANISMOS DE DIREÇÃO E
SUSPENSÃO***

Professor Gertz

Jack Pogorelsky Jr

Novembro de 2004

ÍNDICE

- * Resumo, **3**

- * Introdução, **4**

- * Mecanismos de Suspensão, **5**

- * Suspensão Atual, **6**

- * Suspensão “Endurecida” – Caso 1, **12**

- * Suspensão “Endurecida” – Caso 2, **1515**

- * Suspensão “Endurecida” – Caso 3, **18518**

- * Conclusão, **21**

- * Referências Bibliográficas, **22**

RESUMO

O Mini-Baja possui uma suspensão atual, e a proposta do trabalho é encontrar meios de “endurece-la”.

Um mecanismo de suspensão é composto basicamente de: molas, amortecedores e barras estabilizadoras.

Existem diversos tipos de suspensão, entre eles: Eixo Rígido, De Dion, McPherson e Eixo de Torção.

Com base no Capítulo 10 do Livro “Elementos de Máquinas” de Sarkis Melconian obteve-se todos os parâmetros das molas da suspensão atual do Mini-Baja.

Foram realizados 3 casos de “endurecimento” da suspensão, aumentando o diâmetro do arame da mola, o que gerou um aumento na sua constante elástica.

INTRODUÇÃO

A suspensão tem a função de evitar que as irregularidades do piso sejam transmitidas para o veículo e do veículo para os passageiros.

Além da função de permitir conforto aos passageiros a suspensão tem um outro objetivo importante, o de manter as rodas em posições favoráveis nas retas e nas curvas. Além de manter as rodas no solo, independente da intensidade da irregularidade.

O Mini-Baja possui uma suspensão atual, e a proposta do trabalho é encontrar meios de “endurece-la”.

MECANISMOS DE SUSPENSÃO

Texto baseado no texto de Bob Sharp e Fabrício Samahá no site 'Best Cars Web Site'.

Componentes da Suspensão

Molas: Há dois tipos básicos de molas, a mecânica e a pneumática.

São três as molas mecânicas usadas em automóveis. A de Flexão, em que uma lâmina ou mais juntas se flexionam, a de torção, situação descrita pelo próprio nome, e a helicoidal, que pode ser considerada uma mola de torção enrolada.

A mola pneumática aproveita a compressibilidade do ar em um invólucro flexível, mas encarece o produto, uma vez que requer uma bomba de ar para manter a pressão. Sua grande vantagem é permitir, sem dificuldade construtiva, variar a altura da suspensão ao gosto do motorista ou a conveniência do momento.

Amortecedores: o amortecedor existe para que haja controle dos movimentos da suspensão. Não serve para “absorver choques”, embora ajude a evitar que uma suspensão chegue ao fim de curso, nos impactos de média intensidade da roda contra um buraco ou obstáculo.

Seu princípio de funcionamento é a dificuldade que um líquido tem em passar por orifícios de pequeno diâmetro.

Barra Estabilizadora: preso dos dois lados da suspensão, controla a rolagem e tem um efeito colateral positivo, permite molas mais macias, para ganho em conforto ao transpor irregularidades em linha reta.

Tipos de Suspensão

Eixo Rígido: O tipo mais antigo e simples de suspensão.

Consiste em um eixo ligando as rodas e fixado ao chassi, com interpolação de uma mola transversal ou duas longitudinais.

Sua simplicidade oferece vantagens de baixo custo, robustez, ausência de manutenção (não requer alinhamento de câmbor jamais) e, quando aplicado a traseira, a propriedade de manter as rodas sempre verticais em curvas. No entanto, é fácil perceber seu maior inconveniente: a total dependência entre as rodas do mesmo eixo faz toda oscilação sofrida por um lado chegue ao outro, o que perturba o comportamento.

De Dion: é em um eixo rígido motriz, mas com diferencial fixado ao chassi e não ao eixo, solução bem superior ao eixo tradicional pela questão de massa não-suspensa – e mais ainda em relação ao semi-eixo oscilante. O movimento do diferencial chega às rodas por semi-árvores.

McPherson: Trata-se de um sistema simples e eficiente de suspensão independente. Sua disposição típica consiste em uma coluna telescópica com mola helicoidal e amortecedor concêntricos (a mola está “enrolada” em torno do amortecedor), fixa na parte superior por um mancal, e um braço transversal na parte inferior.

Eixo de Torção: A idéia nasceu em 1934 com o Citroen 7/11. Além de o meio elástico ser uma barra de torção, o próprio eixo – primeiro tubular e logo depois de seção cruciforme – podia se torcer e, com isso, proporcionar alguma independência entre as rodas traseiras. O efeito era parecido, mas o custo era bem mais baixo do que em uma suspensão independente na acepção da palavra.

Braços Sobrepostos: Talvez o mais antigo sistema de suspensão independente, permanece em uso em muitos modelos por causa de uma grande virtude: a possibilidade de controle perfeito da posição da roda por todo o curso da suspensão, inclusive compensando os efeitos da rolagem.

Consiste em dois braços de comprimentos desiguais (o inferior mais longo, triangulares ou não, montados em planos sobrepostos – daí o nome. O superior geralmente pouco inclinado para o centro do veículo, parte do processo de compensar a rolagem nas curvas, mantendo a roda externa na vertical.

SUSPENSÃO ATUAL

Com base no Capítulo 10 do Livro “Elementos de Máquinas” de Sarkis Melconian obteve-se todos os parâmetros das molas da suspensão atual do Mini-Baja.

Suspensão Dianteira Atual

Tipo: Mola Helicoidal
Material: Aço SAE 1065
Módulo de Elasticidade Transversal do Material, “G”: 78400N/mm²
Diâmetro do Arame, “d_a”: 20mm
Diâmetro Médio da Mola, “d_m”: 80mm
Número de Espiras Ativas, “n_a”: 8 espiras
Número de Espiras Total, “n_t”: 10 espiras
Massa Total do Veículo, “m” = 275kg

1. Força Máxima Aplicada em cada roda da Suspensão Dianteira do Veículo, “F”:

$$F = m \cdot g = 275kg \cdot 9,81m/s^2 = 2697,75N$$

Onde:

“F” é a força máxima aplicada em cada roda da suspensão dianteira do veículo, em N

“m” é a massa total do veículo, em kg

“g” é a aceleração da gravidade, em m/s²

2. Centro de Curvatura, “C”:

$$C = d_m / d_a = 80mm / 20mm = 4$$

Onde:

“C” é o centro de curvatura, *adimensional*

“d_m” é o diâmetro médio da mola, em mm

“d_a” é o diâmetro do arame, em mm

3. Fator de Wahl, “k_w”:

$$k_w = \frac{4C - 1}{4C - 4} + \frac{0,615}{C} = \frac{4 \cdot 4 - 1}{4 \cdot 4 - 4} + \frac{0,615}{4} = 1,40375$$

Onde:

“k_w” é o fator de Wahl, *adimensional*

“C” é o centro de curvatura, *adimensional*

4. Tensão de Cisalhamento Atuante, “τ”:

$$\tau = k_w \cdot \frac{8 \cdot F \cdot d_m}{\pi \cdot d_a^3} = 1,40375 \cdot \frac{8 \cdot 2697,75N \cdot 80mm}{\pi \cdot 20mm^3} = 96,434N/mm^2$$

Onde:

“F” é a força máxima aplicada em cada roda da suspensão dianteira do veículo, em N

“τ” é a tensão de cisalhamento, em N/mm²

“d_m” é o diâmetro médio da mola, em mm

“d_a” é o diâmetro do arame, em mm

“k_w” é o fator de Wahl, *adimensional*

5. Deflexão por Espira Ativa, " $\left(\frac{\delta}{n_a}\right)$ ":

$$\frac{\delta}{n_a} = \frac{8 \cdot F \cdot C^3}{d_a \cdot G} = \frac{8 \cdot 2697,75 N \cdot 4^3}{20 mm \cdot 78400 \frac{N}{mm^2}} = 0,881 mm$$

Onde:

" $\left(\frac{\delta}{n_a}\right)$ " é a deflexão por espira ativa, em *mm/espira ativa*

" d_a " é o diâmetro do arame, em *mm*

" F " é a força máxima aplicada em cada roda da suspensão dianteira do veículo, em *N*

" C " é o centro de curvatura, *adimensional*

" G " é o módulo de elasticidade transversal do material, em *N/mm²*

6. Passo da Mola, " p ":

$$p = d_a + 1,15 \cdot \frac{\delta}{n_a} = 20 mm + 1,15 \cdot 0,881 mm = 21,013 mm$$

Onde:

" p " é o passo da mola, em *mm*

" d_a " é o diâmetro do arame, em *mm*

" $\left(\frac{\delta}{n_a}\right)$ " é a deflexão por espira ativa, em *mm*

7. Comprimento da Mola, " L ":

$$L = p \cdot n_a + 2 \cdot d_a = 21,013 mm \cdot 8 + 2 \cdot 20 = 208,104 mm$$

Onde:

" L " é o comprimento da mola, em *mm*

" p " é o passo da mola, em *mm*

" d_a " é o diâmetro do arame, em *mm*

" n_a " é o número de espiras ativas, em *adimensional*

8. Comprimento da Mola Fechada, " L_f ":

$$L_f = d_a (n_a + 2) = 20 mm \cdot (8 + 2) = 200 mm$$

Onde:

" L_f " é o comprimento da mola fechada, em *mm*

" d_a " é o diâmetro do arame, em *mm*

" n_a " é o número de espiras ativas, em *adimensional*

9. Deflexão Máxima da Mola, " $\delta_{máx}$ ":

$$\delta = L - L_f = 208,104 - 200 = 8,104 mm$$

Onde:

" $\delta_{máx}$ " é a deflexão máxima da mola, em *mm*

" L_f " é o comprimento da mola fechada, em mm
" L " é o comprimento da mola, em mm

10. Carga Máxima Atuante na Mola Fechada, " $F_{máx}$ ":

$$F_{máx} = \frac{\delta_{máx} \cdot d_a \cdot G}{8 \cdot C^3 \cdot n_a} = \frac{8,104mm \cdot 20mm \cdot 78400 \frac{N}{mm^2}}{8 \cdot 4^3 \cdot 8} = 3102,313N$$

Onde:

" $F_{máx}$ " é a carga máxima atuante na mola fechada, em N

" $\delta_{máx}$ " é a deflexão máxima da mola, em mm

" n_a " é o número de espiras ativas, em *adimensional*

" d_a " é o diâmetro do arame, em mm

" C " é o centro de curvatura, *adimensional*

" G " é o módulo de elasticidade transversal do material, em N/mm^2

11. Tensão Máxima Atuante na Mola Fechada, " $\tau_{máx}$ ":

$$\tau_{máx} = \frac{8 \cdot F_{máx} \cdot C \cdot k_w}{\pi \cdot d_a^2} = \frac{8 \cdot 3102,313N \cdot 4 \cdot 1,40375}{\pi \cdot 20mm^2} = 110,896mm$$

Onde:

" $\tau_{máx}$ " é a tensão máxima atuante na mola fechada, em N

" $F_{máx}$ " é a carga máxima atuante na mola fechada, em N

" C " é o centro de curvatura, *adimensional*

" d_a " é o diâmetro do arame, em mm

" k_w " é o fator de Wahl, *adimensional*

12. Deflexão da Mola, " δ ":

$$\frac{\delta}{n_a} = 0,881mm \therefore \delta = 0,881mm \cdot n_a = 0,881mm \cdot 8 = 7,048mm$$

Onde:

" δ " é a deflexão da mola, em mm

" n_a " é o número de espiras ativas, em *adimensional*

13. Constante Elástica da Mola, " k ":

$$k = \frac{F}{\delta} = \frac{2697,75N}{7,048mm} = 382,768 \frac{N}{mm}$$

Onde:

" k " é a constante elástica da mola, em N/mm

" δ " é a deflexão da mola, em mm

" F " é a força máxima aplicada em cada roda da suspensão dianteira do veículo, em N

14. Ângulo de Inclinação da Espira, " λ ":

$$\lambda = \arctan \left(\frac{p}{\pi \cdot d_m} \right) = \arctan \left(\frac{21,013mm}{\pi \cdot 80mm} \right) = 4,783^\circ (4^\circ 47')$$

Onde:

" λ " é o ângulo de inclinação da espira, em *graus*
" p " é o passo da mola, em *mm*
" d_m " é o diâmetro médio da mola, em *mm*

Suspensão Traseira Atual

Tipo: Mola Helicoidal
Material: Aço SAE 1065
Módulo de Elasticidade Transversal do Material, " G ": 78400N/mm²
Diâmetro do Arame, " d_a ": 20mm
Diâmetro Médio da Mola, " d_m ": 74mm
Número de Espiras Ativas, " n_a ": 9 espiras
Número de Espiras Total, " n_t ": 11 espiras
Massa Total do Veículo, " m " = 275kg

1. Força Máxima Aplicada em cada roda da Suspensão Traseira do Veículo, " F ":

$$F = m \cdot g = 275\text{kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2 = 2697,75\text{N}$$

Onde:

" F " é a força máxima aplicada em cada roda da suspensão traseira do veículo, em *N*
" m " é a massa total do veículo, em *kg*
" g " é a aceleração da gravidade, em *m/s²*

2. Centro de Curvatura, " C ":

$$C = \frac{d_m}{d_a} = \frac{74\text{mm}}{20\text{mm}} = 3,7$$

Onde:

" C " é o centro de curvatura, *adimensional*
" d_m " é o diâmetro médio da mola, em *mm*
" d_a " é o diâmetro do arame, em *mm*

3. Fator de Wahl, " k_w ":

$$k_w = \frac{4C - 1}{4C - 4} + \frac{0,615}{C} = \frac{4 \cdot 3,7 - 1}{4 \cdot 3,7 - 4} + \frac{0,615}{3,7} = 1,44400$$

Onde:

" k_w " é o fator de Wahl, *adimensional*
" C " é o centro de curvatura, *adimensional*

4. Tensão de Cisalhamento Atuante, " τ ":

$$\tau = k_w \cdot \frac{8 \cdot F \cdot d_m}{\pi \cdot d_a^3} = 1,40375 \cdot \frac{8 \cdot 2697,75\text{N} \cdot 74\text{mm}}{\pi \cdot 20\text{mm}^3} = 89,201\text{N/mm}^2$$

Onde:

" F " é a força máxima aplicada em cada roda da suspensão traseira do veículo, em *N*
" τ " é a tensão de cisalhamento, em *N/mm²*
" d_m " é o diâmetro médio da mola, em *mm*
" d_a " é o diâmetro do arame, em *mm*
" k_w " é o fator de Wahl, *adimensional*

5. Deflexão por Espira Ativa, “ $\left(\frac{\delta}{n_a}\right)$ ”:

$$\frac{\delta}{n_a} = \frac{8 \cdot F \cdot C^3}{d_a \cdot G} = \frac{8 \cdot 2697,75N \cdot 3,7^3}{20mm \cdot 78400 \frac{N}{mm^2}} = 0,697mm$$

Onde:

“ $\left(\frac{\delta}{n_a}\right)$ ” é a deflexão por espira ativa, em *mm/espira ativa*

“ d_a ” é o diâmetro do arame, em *mm*

“ F ” é a força máxima aplicada em cada roda da suspensão traseira do veículo, em *N*

“ C ” é o centro de curvatura, *adimensional*

“ G ” é o módulo de elasticidade transversal do material, em *N/mm²*

6. Passo da Mola, “ p ”:

$$p = d_a + 1,15 \cdot \frac{\delta}{n_a} = 20mm + 1,15 \cdot 0,697mm = 20,802mm$$

Onde:

“ p ” é o passo da mola, em *mm*

“ d_a ” é o diâmetro do arame, em *mm*

“ $\left(\frac{\delta}{n_a}\right)$ ” é a deflexão por espira ativa, em *mm*

7. Comprimento da Mola, “ L ”:

$$L = p \cdot n_a + 2 \cdot d_a = 20,802mm \cdot 9 + 2 \cdot 20 = 227,218mm$$

Onde:

“ L ” é o comprimento da mola, em *mm*

“ p ” é o passo da mola, em *mm*

“ d_a ” é o diâmetro do arame, em *mm*

“ n_a ” é o número de espiras ativas, em *adimensional*

8. Comprimento da Mola Fechada, “ L_f ”:

$$L_f = d_a (n_a + 2) = 20mm \cdot (9 + 2) = 220mm$$

Onde:

“ L_f ” é o comprimento da mola fechada, em *mm*

“ d_a ” é o diâmetro do arame, em *mm*

“ n_a ” é o número de espiras ativas, em *adimensional*

9. Deflexão Máxima da Mola, “ $\delta_{máx}$ ”:

$$\delta = L - L_f = 227,218 - 220 = 7,218mm$$

Onde:

“ $\delta_{máx}$ ” é a deflexão máxima da mola, em *mm*

“ L_f ” é o comprimento da mola fechada, em *mm*

“ L ” é o comprimento da mola, em *mm*

10. Carga Máxima Atuante na Mola Fechada, " $F_{máx}$ ":

$$F_{máx} = \frac{\delta_{máx} \cdot d_a \cdot G}{8 \cdot C^3 \cdot n_a} = \frac{7,218mm \cdot 20mm \cdot 78400 \frac{N}{mm^2}}{8 \cdot 3,7^3 \cdot 9} = 3103,311N$$

Onde:

" $F_{máx}$ " é a carga máxima atuante na mola fechada, em N

" $\delta_{máx}$ " é a deflexão máxima da mola, em mm

" n_a " é o número de espiras ativas, em *adimensional*

" d_a " é o diâmetro do arame, em mm

" C " é o centro de curvatura, *adimensional*

" G " é o módulo de elasticidade transversal do material, em N/mm^2

11. Tensão Máxima Atuante na Mola Fechada, " $\tau_{máx}$ ":

$$\tau_{máx} = \frac{8 \cdot F_{máx} \cdot C \cdot k_w}{\pi \cdot d_a^2} = \frac{8 \cdot 3103,311N \cdot 3,7 \cdot 1,44400}{\pi \cdot 20mm^2} = 105,554mm$$

Onde:

" $\tau_{máx}$ " é a tensão máxima atuante na mola fechada, em N

" $F_{máx}$ " é a carga máxima atuante na mola fechada, em N

" C " é o centro de curvatura, *adimensional*

" d_a " é o diâmetro do arame, em mm

" k_w " é o fator de Wahl, *adimensional*

12. Deflexão da Mola, " δ ":

$$\frac{\delta}{n_a} = 0,697mm \therefore \delta = 0,697mm \cdot n_a = 0,697mm \cdot 9 = 6,273mm$$

Onde:

" δ " é a deflexão da mola, em mm

" n_a " é o número de espiras ativas, em *adimensional*

13. Constante Elástica da Mola, " k ":

$$k = \frac{F}{\delta} = \frac{2697,75N}{6,273mm} = 430,057 \frac{N}{mm}$$

Onde:

" k " é a constante elástica da mola, em N/mm

" δ " é a deflexão da mola, em mm

" F " é a força máxima aplicada em cada roda da suspensão traseira do veículo, em N

14. Ângulo de Inclinação da Espira, " λ ":

$$\lambda = \arctan \left(\frac{p}{\pi \cdot d_m} \right) = \arctan \left(\frac{20,802mm}{\pi \cdot 74mm} \right) = 5,113^\circ (5^\circ 19')$$

Onde:

" λ " é o ângulo de inclinação da espira, em *graus*

" p " é o passo da mola, em mm

" d_m " é o diâmetro médio da mola, em mm

SUSPENSÃO “ENDURECIDA” – CASO 1

Com base no Capítulo 10 do Livro “Elementos de Máquinas” de Sarkis Melconian obteve-se a constante da mola para o caso 1 da suspensão “endurecida”.

O arame utilizado atualmente tem o diâmetro de 20mm, para o caso 1 foi utilizado 22,5mm.

Suspensão Dianteira

Tipo: Mola Helicoidal

Material: Aço SAE 1065

Módulo de Elasticidade Transversal do Material, “G”: 78400N/mm²

Diâmetro do Arame, “d_a”: 22,5mm

Diâmetro Médio da Mola, “d_m”: 80mm

Número de Espiras Ativas, “n_a”: 8 espiras

Número de Espiras Total, “n_t”: 10 espiras

Massa Total do Veículo, “m” = 275kg

1. Força Máxima Aplicada em cada roda da Suspensão Dianteira do Veículo, “F”:

$$F = m \cdot g = 275kg \cdot 9,81m/s^2 = 2697,75N$$

2. Centro de Curvatura, “C”:

$$C = \frac{d_m}{d_a} = \frac{80mm}{22,5mm} = 3,56$$

3. Fator de Wahl, “k_w”:

$$k_w = \frac{4C - 1}{4C - 4} + \frac{0,615}{C} = \frac{4 \cdot 3,56 - 1}{4 \cdot 3,56 - 4} + \frac{0,615}{3,56} = 1,46572$$

4. Deflexão por Espira Ativa, “ $\left(\frac{\delta}{n_a}\right)$ ”:

$$\frac{\delta}{n_a} = \frac{8 \cdot F \cdot C^3}{d_a \cdot G} = \frac{8 \cdot 2697,75N \cdot 3,56^3}{22,5mm \cdot 78400 \frac{N}{mm^2}} = 0,552mm$$

5. Passo da Mola, “p”:

$$p = d_a + 1,15 \cdot \frac{\delta}{n_a} = 22,5mm + 1,15 \cdot 0,552mm = 23,135mm$$

6. Comprimento da Mola, “L”:

$$L = p \cdot n_a + 2 \cdot d_a = 23,135mm \cdot 8 + 2 \cdot 22,5 = 230,080mm$$

7. Comprimento da Mola Fechada, “L_f”:

$$L_f = d_a (n_a + 2) = 22,5mm \cdot (8 + 2) = 225mm$$

8. Deflexão Máxima da Mola, “δ_{máx}”:

$$\delta = L - L_f = 230,080 - 225 = 5,080\text{mm}$$

9. Carga Máxima Atuante na Mola Fechada, “ $F_{máx}$ ”:

$$F_{máx} = \frac{\delta_{máx} \cdot d_a \cdot G}{8 \cdot C^3 \cdot n_a} = \frac{5,080\text{mm} \cdot 22,5\text{mm} \cdot 78400 \text{ N/mm}^2}{8 \cdot 3,56^3 \cdot 8} = 3103,361\text{N}$$

10. Deflexão da Mola, “ δ ”:

$$\frac{\delta}{n_a} = 0,552\text{mm} \therefore \delta = 0,552\text{mm} \cdot n_a = 0,552\text{mm} \cdot 8 = 4,416\text{mm}$$

11. Constante Elástica da Mola, “ k ”:

$$k = \frac{F}{\delta} = \frac{2697,75\text{N}}{4,416\text{mm}} = 610,903 \text{ N/mm}$$

Suspensão Traseira

Tipo: Mola Helicoidal

Material: Aço SAE 1065

Módulo de Elasticidade Transversal do Material, “ G ”: 78400N/mm²

Diâmetro do Arame, “ d_a ”: 22,5mm

Diâmetro Médio da Mola, “ d_m ”: 74mm

Número de Espiras Ativas, “ n_a ”: 9 espiras

Número de Espiras Total, “ n_t ”: 11 espiras

Massa Total do Veículo, “ m ” = 275kg

1. Força Máxima Aplicada em cada roda da Suspensão Traseira do Veículo, “ F ”:

$$F = m \cdot g = 275\text{kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2 = 2697,75\text{N}$$

2. Centro de Curvatura, “ C ”:

$$C = \frac{d_m}{d_a} = \frac{74\text{mm}}{22,5\text{mm}} = 3,29$$

3. Fator de Wahl, “ k_w ”:

$$k_w = \frac{4C - 1}{4C - 4} + \frac{0,615}{C} = \frac{4 \cdot 3,29 - 1}{4 \cdot 3,29 - 4} + \frac{0,615}{3,29} = 1,51444$$

4. Deflexão por Espira Ativa, “ $\left(\frac{\delta}{n_a}\right)$ ”:

$$\frac{\delta}{n_a} = \frac{8 \cdot F \cdot C^3}{d_a \cdot G} = \frac{8 \cdot 2697,75\text{N} \cdot 3,29^3}{22,5\text{mm} \cdot 78400 \text{ N/mm}^2} = 0,436\text{mm}$$

5. Passo da Mola, “ p ”:

$$p = d_a + 1,15 \cdot \frac{\delta}{n_a} = 22,5\text{mm} + 1,15 \cdot 0,436\text{mm} = 23,001\text{mm}$$

6. Comprimento da Mola, "L":

$$L = p \cdot n_a + 2 \cdot d_a = 23,001\text{mm} \cdot 9 + 2 \cdot 22,5 = 252,009\text{mm}$$

7. Comprimento da Mola Fechada, "L_f":

$$L_f = d_a (n_a + 2) = 22,5\text{mm} \cdot (9 + 2) = 247,5\text{mm}$$

8. Deflexão Máxima da Mola, "δ_{máx}":

$$\delta = L - L_f = 252,009 - 247,5 = 4,509\text{mm}$$

9. Carga Máxima Atuante na Mola Fechada, "F_{máx}":

$$F_{máx} = \frac{\delta_{máx} \cdot d_a \cdot G}{8 \cdot C^3 \cdot n_a} = \frac{4,509\text{mm} \cdot 22,5\text{mm} \cdot 78400 \frac{N}{\text{mm}^2}}{8 \cdot 3,29^3 \cdot 9} = 3102,120\text{N}$$

10. Deflexão da Mola, "δ":

$$\frac{\delta}{n_a} = 0,436\text{mm} \therefore \delta = 0,436\text{mm} \cdot n_a = 0,436\text{mm} \cdot 9 = 3,924\text{mm}$$

11. Constante Elástica da Mola, "k":

$$k = \frac{F}{\delta} = \frac{2697,75\text{N}}{3,924\text{mm}} = 687,500 \frac{N}{\text{mm}}$$

SUSPENSÃO “ENDURECIDA” – CASO 2

Com base no Capítulo 10 do Livro “Elementos de Máquinas” de Sarkis Melconian obteve-se a constante da mola para o caso 2 da suspensão “endurecida”.

O arame utilizado atualmente tem o diâmetro de 20mm, para o caso 2 foi utilizado 25mm.

Suspensão Dianteira

Tipo: Mola Helicoidal

Material: Aço SAE 1065

Módulo de Elasticidade Transversal do Material, “G”: 78400N/mm²

Diâmetro do Arame, “d_a”: 25mm

Diâmetro Médio da Mola, “d_m”: 80mm

Número de Espiras Ativas, “n_a”: 8 espiras

Número de Espiras Total, “n_t”: 10 espiras

Massa Total do Veículo, “m” = 275kg

1. Força Máxima Aplicada em cada roda da Suspensão Dianteira do Veículo, “F”:

$$F = m \cdot g = 275kg \cdot 9,81m/s^2 = 2697,75N$$

2. Centro de Curvatura, “C”:

$$C = \frac{d_m}{d_a} = \frac{80mm}{25mm} = 3,2$$

3. Fator de Wahl, “k_w”:

$$k_w = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0,615}{C} = \frac{4 \cdot 3,2-1}{4 \cdot 3,2-4} + \frac{0,615}{3,2} = 1,53310$$

4. Deflexão por Espira Ativa, “ $\left(\frac{\delta}{n_a}\right)$ ”:

$$\frac{\delta}{n_a} = \frac{8 \cdot F \cdot C^3}{d_a \cdot G} = \frac{8 \cdot 2697,75N \cdot 3,2^3}{25mm \cdot 78400 \frac{N}{mm^2}} = 0,361mm$$

5. Passo da Mola, “p”:

$$p = d_a + 1,15 \cdot \frac{\delta}{n_a} = 25mm + 1,15 \cdot 0,361mm = 25,415mm$$

6. Comprimento da Mola, “L”:

$$L = p \cdot n_a + 2 \cdot d_a = 25,415mm \cdot 8 + 2 \cdot 25 = 253,320mm$$

7. Comprimento da Mola Fechada, “L_f”:

$$L_f = d_a (n_a + 2) = 25mm \cdot (8 + 2) = 250mm$$

8. Deflexão Máxima da Mola, “δ_{máx}”:

$$\delta = L - L_f = 253,320 - 250 = 3,320\text{mm}$$

9. Carga Máxima Atuante na Mola Fechada, “ $F_{m\acute{a}x}$ ”:

$$F_{m\acute{a}x} = \frac{\delta_{m\acute{a}x} \cdot d_a \cdot G}{8 \cdot C^3 \cdot n_a} = \frac{3,320\text{mm} \cdot 25\text{mm} \cdot 78400 \text{ N/mm}^2}{8 \cdot 3,2^3 \cdot 8} = 3102,875\text{N}$$

10. Deflexão da Mola, “ δ ”:

$$\frac{\delta}{n_a} = 0,361\text{mm} \therefore \delta = 0,361\text{mm} \cdot n_a = 0,361\text{mm} \cdot 8 = 2,888\text{mm}$$

11. Constante Elástica da Mola, “ k ”:

$$k = \frac{F}{\delta} = \frac{2697,75\text{N}}{2,888\text{mm}} = 934,124 \text{ N/mm}$$

Suspensão Traseira

Tipo: Mola Helicoidal

Material: Aço SAE 1065

Módulo de Elasticidade Transversal do Material, “ G ”: 78400N/mm²

Diâmetro do Arame, “ d_a ”: 25mm

Diâmetro Médio da Mola, “ d_m ”: 74mm

Número de Espiras Ativas, “ n_a ”: 9 espiras

Número de Espiras Total, “ n_t ”: 11 espiras

Massa Total do Veículo, “ m ” = 275kg

1. Força Máxima Aplicada em cada roda da Suspensão Traseira do Veículo, “ F ”:

$$F = m \cdot g = 275\text{kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2 = 2697,75\text{N}$$

2. Centro de Curvatura, “ C ”:

$$C = \frac{d_m}{d_a} = \frac{74\text{mm}}{25\text{mm}} = 2,96$$

3. Fator de Wahl, “ k_w ”:

$$k_w = \frac{4C - 1}{4C - 4} + \frac{0,615}{C} = \frac{4 \cdot 2,96 - 1}{4 \cdot 2,96 - 4} + \frac{0,615}{2,96} = 1,59042$$

4. Deflexão por Espira Ativa, “ $\left(\frac{\delta}{n_a}\right)$ ”:

$$\frac{\delta}{n_a} = \frac{8 \cdot F \cdot C^3}{d_a \cdot G} = \frac{8 \cdot 2697,75\text{N} \cdot 2,96^3}{25\text{mm} \cdot 78400 \text{ N/mm}^2} = 0,286\text{mm}$$

5. Passo da Mola, “ p ”:

$$p = d_a + 1,15 \cdot \frac{\delta}{n_a} = 25\text{mm} + 1,15 \cdot 0,286\text{mm} = 25,329\text{mm}$$

6. Comprimento da Mola, "L":

$$L = p \cdot n_a + 2 \cdot d_a = 25,329\text{mm} \cdot 9 + 2 \cdot 25 = 277,961\text{mm}$$

7. Comprimento da Mola Fechada, "L_f":

$$L_f = d_a (n_a + 2) = 25\text{mm} \cdot (9 + 2) = 275,0\text{mm}$$

8. Deflexão Máxima da Mola, "δ_{máx}":

$$\delta = L - L_f = 277,961 - 275,0 = 2,961\text{mm}$$

9. Carga Máxima Atuante na Mola Fechada, "F_{máx}":

$$F_{máx} = \frac{\delta_{máx} \cdot d_a \cdot G}{8 \cdot C^3 \cdot n_a} = \frac{2,961\text{mm} \cdot 25\text{mm} \cdot 78400 \text{ N/mm}^2}{8 \cdot 2,96^3 \cdot 9} = 3108,042\text{N}$$

10. Deflexão da Mola, "δ":

$$\frac{\delta}{n_a} = 0,286\text{mm} \therefore \delta = 0,286\text{mm} \cdot n_a = 0,286\text{mm} \cdot 9 = 2,574\text{mm}$$

11. Constante Elástica da Mola, "k":

$$k = \frac{F}{\delta} = \frac{2697,75\text{N}}{2,574\text{mm}} = 1048,077 \text{ N/mm}$$

SUSPENSÃO “ENDURECIDA” – CASO 3

Com base no Capítulo 10 do Livro “Elementos de Máquinas” de Sarkis Melconian obteve-se a constante da mola para o caso 3 da suspensão “endurecida”.

O arame utilizado atualmente tem o diâmetro de 20mm, para o caso 2 foi utilizado 28mm.

Suspensão Dianteira

Tipo: Mola Helicoidal

Material: Aço SAE 1065

Módulo de Elasticidade Transversal do Material, “G”: 78400N/mm²

Diâmetro do Arame, “d_a”: 28mm

Diâmetro Médio da Mola, “d_m”: 80mm

Número de Espiras Ativas, “n_a”: 8 espiras

Número de Espiras Total, “n_t”: 10 espiras

Massa Total do Veículo, “m” = 275kg

1. Força Máxima Aplicada em cada roda da Suspensão Dianteira do Veículo, “F”:

$$F = m \cdot g = 275\text{kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2 = 2697,75\text{N}$$

2. Centro de Curvatura, “C”:

$$C = \frac{d_m}{d_a} = \frac{80\text{mm}}{28\text{mm}} = 2,86$$

3. Fator de Wahl, “k_w”:

$$k_w = \frac{4C - 1}{4C - 4} + \frac{0,615}{C} = \frac{4 \cdot 2,86 - 1}{4 \cdot 2,86 - 4} + \frac{0,615}{2,86} = 1,61826$$

4. Deflexão por Espira Ativa, “ $\left(\frac{\delta}{n_a}\right)$ ”:

$$\frac{\delta}{n_a} = \frac{8 \cdot F \cdot C^3}{d_a \cdot G} = \frac{8 \cdot 2697,75\text{N} \cdot 2,86^3}{28\text{mm} \cdot 78400\text{N/mm}^2} = 0,230\text{mm}$$

5. Passo da Mola, “p”:

$$p = d_a + 1,15 \cdot \frac{\delta}{n_a} = 28\text{mm} + 1,15 \cdot 0,230\text{mm} = 28,265\text{mm}$$

6. Comprimento da Mola, “L”:

$$L = p \cdot n_a + 2 \cdot d_a = 28,265\text{mm} \cdot 8 + 2 \cdot 28 = 282,120\text{mm}$$

7. Comprimento da Mola Fechada, “L_f”:

$$L_f = d_a (n_a + 2) = 28\text{mm} \cdot (8 + 2) = 280\text{mm}$$

8. Deflexão Máxima da Mola, “δ_{máx}”:

$$\delta = L - L_f = 282,120 - 280 = 2,120\text{mm}$$

9. Carga Máxima Atuante na Mola Fechada, “ $F_{máx}$ ”:

$$F_{máx} = \frac{\delta_{máx} \cdot d_a \cdot G}{8 \cdot C^3 \cdot n_a} = \frac{2,120\text{mm} \cdot 28\text{mm} \cdot 78400 \text{ N/mm}^2}{8 \cdot 2,86^3 \cdot 8} = 3108,364\text{N}$$

10. Deflexão da Mola, “ δ ”:

$$\frac{\delta}{n_a} = 0,230\text{mm} \therefore \delta = 0,230\text{mm} \cdot n_a = 0,230\text{mm} \cdot 8 = 1,840\text{mm}$$

11. Constante Elástica da Mola, “ k ”:

$$k = \frac{F}{\delta} = \frac{2697,75\text{N}}{1,840\text{mm}} = 1466,168 \text{ N/mm}$$

Suspensão Traseira

Tipo: Mola Helicoidal

Material: Aço SAE 1065

Módulo de Elasticidade Transversal do Material, “ G ”: 78400N/mm²

Diâmetro do Arame, “ d_a ”: 28mm

Diâmetro Médio da Mola, “ d_m ”: 74mm

Número de Espiras Ativas, “ n_a ”: 9 espiras

Número de Espiras Total, “ n_t ”: 11 espiras

Massa Total do Veículo, “ m ” = 275kg

1. Força Máxima Aplicada em cada roda da Suspensão Traseira do Veículo, “ F ”:

$$F = m \cdot g = 275\text{kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2 = 2697,75\text{N}$$

2. Centro de Curvatura, “ C ”:

$$C = \frac{d_m}{d_a} = \frac{74\text{mm}}{28\text{mm}} = 2,64$$

3. Fator de Wahl, “ k_w ”:

$$k_w = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0,615}{C} = \frac{4 \cdot 2,64 - 1}{4 \cdot 2,64 - 4} + \frac{0,615}{2,64} = 1,69027$$

4. Deflexão por Espira Ativa, “ $\left(\frac{\delta}{n_a}\right)$ ”:

$$\frac{\delta}{n_a} = \frac{8 \cdot F \cdot C^3}{d_a \cdot G} = \frac{8 \cdot 2697,75\text{N} \cdot 2,64^3}{28\text{mm} \cdot 78400 \text{ N/mm}^2} = 0,181\text{mm}$$

5. Passo da Mola, “ p ”:

$$p = d_a + 1,15 \cdot \frac{\delta}{n_a} = 28\text{mm} + 1,15 \cdot 0,181\text{mm} = 28,208\text{mm}$$

6. Comprimento da Mola, "L":

$$L = p \cdot n_a + 2 \cdot d_a = 28,208\text{mm} \cdot 9 + 2 \cdot 28 = 309,872\text{mm}$$

7. Comprimento da Mola Fechada, "L_f":

$$L_f = d_a (n_a + 2) = 28\text{mm} \cdot (9 + 2) = 308,0\text{mm}$$

8. Deflexão Máxima da Mola, "δ_{máx}":

$$\delta = L - L_f = 309,872 - 308,0 = 1,872\text{mm}$$

9. Carga Máxima Atuante na Mola Fechada, "F_{máx}":

$$F_{máx} = \frac{\delta_{máx} \cdot d_a \cdot G}{8 \cdot C^3 \cdot n_a} = \frac{1,872\text{mm} \cdot 28\text{mm} \cdot 78400 \frac{N}{\text{mm}^2}}{8 \cdot 2,64^3 \cdot 9} = 3101,956\text{N}$$

10. Deflexão da Mola, "δ":

$$\frac{\delta}{n_a} = 0,181\text{mm} \therefore \delta = 0,181\text{mm} \cdot n_a = 0,181\text{mm} \cdot 9 = 1,629\text{mm}$$

11. Constante Elástica da Mola, "k":

$$k = \frac{F}{\delta} = \frac{2697,75\text{N}}{1,629\text{mm}} = 1656,077 \frac{N}{\text{mm}}$$

CONCLUSÃO

O Mini-Baja possui uma suspensão atual, e a proposta do trabalho foi de “endurece-la”. Primeiramente obteve-se todos os parâmetros das molas da suspensão atual do Mini-Baja, como: Tipo, Material, Módulo de Elasticidade Transversal do Material, Diâmetro do Arame, Diâmetro Médio da Mola, Número de Espiras Ativas e Número de Espiras Total e Massa Total do Veículo. Partindo desses dados calculou-se a Força Máxima Aplicada em cada roda da Suspensão Dianteira do Veículo, Centro de Curvatura, Fator de Wahl, Tensão de Cisalhamento Atuante, Deflexão por Espira Ativa, Passo da Mola, Comprimento da Mola, Comprimento da Mola Fechada, Deflexão Máxima da Mola, Carga Máxima Atuante na Mola Fechada, Tensão Máxima Atuante na Mola Fechada, Deflexão da Mola, Constante Elástica da Mola e Ângulo de Inclinação da Espira.

Para “endurecer” a suspensão utilizou-se 3 casos diferentes, em cada um deles o arame tinha o seu diâmetro aumentado, o que gerava um aumento na constante elástica da mola.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Antunes, Izildo. **Elementos de Maquina**. São Paulo : Érica, 1998. 296 páginas.

Best Cars Web Site. <http://www2.uol.com.br/bestcars/tecprep/susp-1.htm>.

Canale, Antonio Carlos. **Automobilística : Dinâmica e Desempenho**. São Paulo : Érica, 1989. 125 páginas.

Melconian, Sarkis. **Elementos de Máquinas**. São Paulo : Érica, 2000. 342 páginas.