

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE E RIGIDEZ DE MOLA PLANA PARA O USO EM MÁQUINAS AGRÍCOLAS

MORAIS, César S.¹; MEDEIROS, Fabrício A.²; MACHADO, Antônio L. T.³; REIS, Angelo V. dos ⁴; STEFANELLO, Giusepe.²

¹Acadêmico de Eng. Agrícola/CENG/UFPEL; ²UFPEL/FAEM/PPGSPAF/DER; ³UFPEL/FAEM/DER; ⁴Orientador - UFPEL/FAEM/DER. cesar.m503@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

No projeto de máquinas agrícolas e seus elementos é necessário o estudo e conhecimento das características geométricas, estruturais e mecânicas dos materiais que compõem cada um de seus sistemas, para que o produto desenvolvido apresente confiabilidade e segurança. No caso da utilização de molas planas em máquinas agrícolas, como elementos de fixação e interface a outros elementos, é necessário o conhecimento de suas propriedades para não comprometer o funcionamento e desempenho destas.

Segundo Albuquerque (1980) as molas em forma de lâminas nada mais são que vigas que fazem ligação entre componentes, suportando movimentos e tensões exercidos pelos mesmos. Podem apresentar apoios engastados, articulados, simplesmente apoiados ou combinados.

Como na maioria dos casos as cargas são concentradas perpendicularmente ao eixo geométrico da lâmina, estas molas apresentam certa flexibilidade, a qual é influenciada pela rigidez do material que a compõe (ALBUQUERQUE1980).

Para o cálculo do coeficiente de rigidez em molas planas podem ser utilizadas duas equações, uma chamada de equação universal (Eq.U) e outra específica para molas em formato de lâmina (Eq.E). A equação universal é estabelecida de forma direta, pois se trata de uma relação entre a força necessária para produzir uma unidade de deslocamento em uma direção específica. Já a equação específica possibilita o cálculo indireto da rigidez da mola, levando em consideração o módulo de elasticidade do material, momento de inércia da seção e distância entre ponto de fixação e o de aplicação da carga.

Nota-se, desta forma, que para a utilização de mola tipo lâmina em projeto de máquinas agrícolas é fundamental o conhecimento de suas características. Portanto o objetivo do trabalho foi determinar o coeficiente de rigidez de uma mola plana com apoio combinado do tipo articulado apoiado para utilização em máquinas agrícolas.

2 METODOLOGIA (MATERIAL E MÉTODOS)

Os ensaios foram realizados junto ao Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas. Foi utilizada uma mola plana de formato quarto-elíptico com dimensões 835 mm de comprimento por 39 mm de largura por 6 mm de espessura feita de aço SAE 1070.

O mecanismo foi montado em uma bancada por meio de pinos, sendo inserido um deles junto ao olhal da mola, presente em uma das extremidades da

mesma, enquanto o segundo localizou-se afastado 100 mm do primeiro, a fim de restringir parcialmente a articulação da mola em relação ao eixo do olhal.

Com auxílio de uma escala milimétrica foram assinalados na superfície da mola, cinco pontos equidistantes 100 mm. O primeiro foi marcado a 400 mm em relação ao olhal. Nestes pontos foram aplicadas nove cargas previamente conhecidas, através da quantificação de sua massa por meio de balança analítica com precisão de 0,005 kg. As peças de aço utilizadas no ensaio possuem massa de 0,300; 0,900; 1,830; 3,195; 4,870; 6,550; 8,280; 10,670 e 16,500 kg.

Iniciando-se pelo ponto mais próximo do olhal da mola, as cargas foram sendo aplicadas, através de um cabo de náilon, de forma crescente em cada um dos pontos determinados (Fig.1). A deformação da mola foi mensurada com auxílio de uma escala milimétrica, apoiada a uma base horizontal, posicionada perpendicularmente à mola na extremidade oposta ao ponto de fixação.

Foram realizadas 45 leituras, correspondente a um valor de deformação mensurado para cada uma das nove cargas aplicadas em cada um dos cinco pontos. Os valores foram digitalizados em planilha eletrônica, onde foi possível fazer uma análise de regressão linear, para avaliar o coeficiente de correlação gerado por cada uma das equações correspondente às curvas.

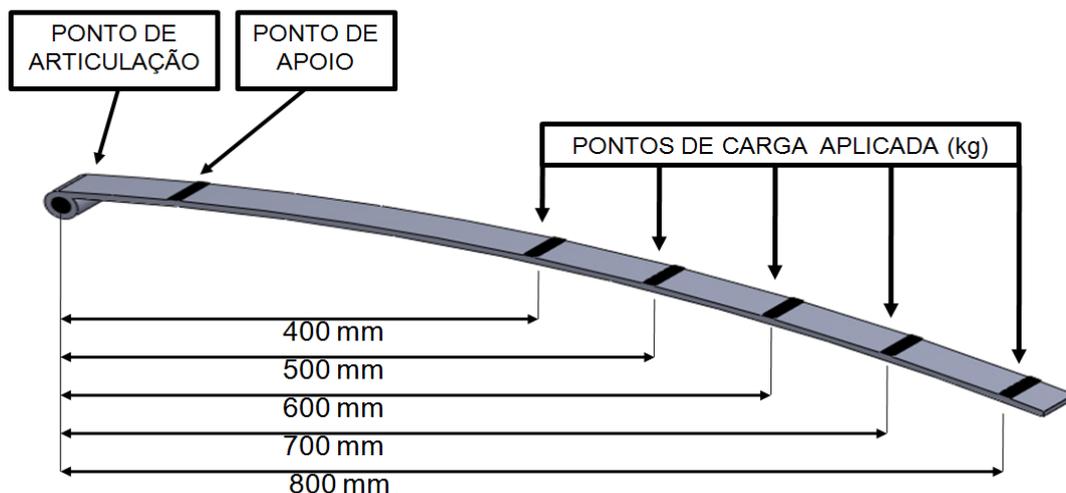


Figura 1 - Detalhamento da fixação e aplicações de carga.

As medidas de massa e rigidez são necessárias para os cálculos da frequência natural, dessa forma, pode-se efetuar o cálculo da massa efetiva, utilizando-se como referência qualquer ponto do sistema. Entretanto, deve-se determinar também a rigidez para esse ponto. Rigidez (k) é definida como a força necessária (F) para produzir uma unidade de deslocamento (x) na direção especificada, sendo k determinada pela Eq.U (THOMSON,1978).

$$k = \frac{F}{x} \quad \text{Equação universal (Eq.U)}$$

Onde:

F - Força aplicada (carga) (kg),

x - Deslocamento (mm),

Essa equação é a mais usual para molas helicoidais, sendo que para cada tipo de mola existe uma equação específica conforme o seu tipo. A equação

específica para molas do tipo lâmina de seção transversal constante é a equação Eq.E (THOMSON,1978).

$$k = \frac{3EI}{l^3} \quad \text{Equação para mola de lâmina Eq.E,}$$

Onde:

I - momento de inércia na seção, (mm)
 E - módulo da elasticidade (kg.mm⁻²)
 l - comprimento total (mm)

Momento de inércia (I) é o fator de ajuste da seção transversal da lâmina e determinado pela equação:

$$I = \frac{b.h^3}{12} \quad \text{Equação do momento de inércia}$$

O módulo de elasticidade (E) é obtido em função da resistência do material. O valor utilizado é descrito por Albuquerque (1980, p. 415) que é de 2.100 kg.mm⁻² para o aço em questão.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com valores obtidos nos ensaios foi gerado um gráfico de dispersão para carga *versus* deformação para cada ponto de aplicação. Para cada uma das distâncias é apresentada a equação linear, obtida por regressão, e o correspondente coeficiente de correlação (R^2) para análise de variação da deformação conforme Fig. 2.

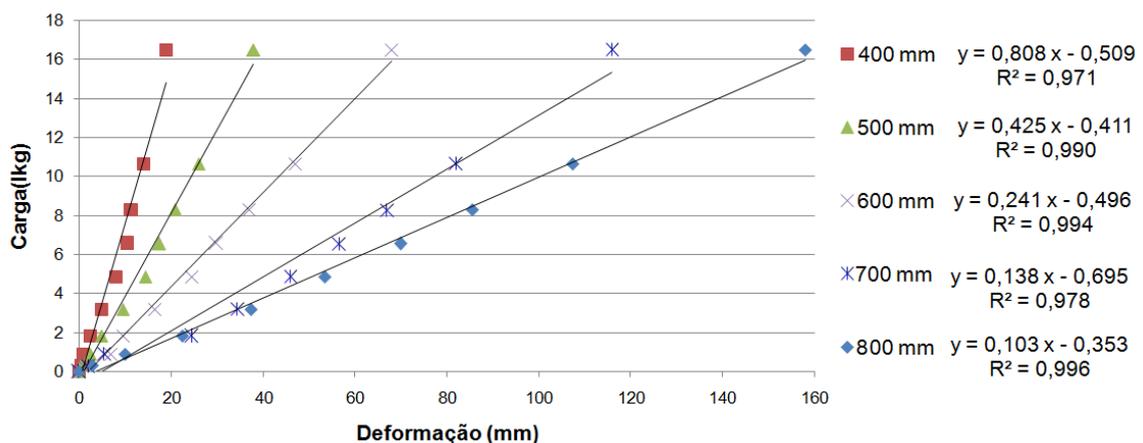


Figura 2 - Curvas de regressão dos conjuntos de dados para as distâncias avaliadas.

Os coeficientes de correlação demonstram que a deformação é linear em cada distância, e os coeficientes angulares das retas obtidas são considerados os coeficientes de rigidez (k) para cada caso.

Os coeficientes de rigidez estimados pelas equações são apresentados na Tab. 1.

Tabela 1 – Valores de coeficientes de rigidez (k) obtidos pelas Eq.E e pelas equações de regressão.

L (mm)	$k = 3EI.L^{-3}$ (kg.mm ⁻¹)	k medido (kg.mm ⁻¹)
400	0,69	0,81
500	0,35	0,43
600	0,20	0,24
700	0,13	0,14
800	0,09	0,10

Tabela 1 – Valores de coeficientes de rigidez (k) estimados pelas Eq.U e Eq.E.

As diferenças observadas entre os valores medidos e os estimados podem ser atribuídas à utilização de parâmetros diferentes na obtenção do resultado de k. Isso se justifica pela falta de conhecimento exato das propriedades do material utilizado, como as variações na liga do aço e variações de têmpera que podem ser comuns na fabricação da mola.

Também foram observadas diferenças entre os valores estimados e os medidos (Tab.1). A incerteza sobre as características do material e o processo de fabricação da mola pode explicar a diferença. No entanto, há que se observar a escala dessas diferenças. Como o k está expresso em kg.mm⁻¹ e as diferenças observadas na Tab.1, especialmente para as distâncias de 600, 700 e 800 mm, acontecem na segunda casa decimal, isso significa valores pequenos (menos de 40 g.mm⁻¹), razão pela qual teriam pouca influência no projeto de máquinas agrícolas.

4-CONCLUSÃO

Os valores de coeficiente de rigidez da mola plana ensaiada apresentam variações na segunda casa decimal em relação aos valores estimados pelas equações, sendo mais próximos nas maiores distâncias de aplicação de carga.

Os valores encontrados demonstram resultados bem próximos em ambas equações. Esses valores não resultam variação considerável para aplicação de cálculo de k no estudo de molas planas em máquinas agrícolas.

5REFERÊNCIAS

THOMSON, William T. **Teoria das vibrações**. Tradução Cásio Sigaud. Rio de Janeiro – RJ: Editora Interciência1978

ALBUQUERQUE, Olavo A. L. Pires. **Elementos de Máquinas**. Rio de Janeiro – RJ: Editora Guanabara Dois S.A. 1980