

Avaliação do Comportamento de Molas Helicoidais Submetidas a Compressão

GARCIA, Cisneros Edry Antonio¹

Doctor, Professor of Mechanical Engineering at Amazonas State University, Brazil

PRINTES André Luis

MSc Professor of Electrical Engineering at Amazonas State University, Brazil

SOUZA, Gomes Raimundo Claudio

Doctor, Professor of Electrical Engineering at Amazonas State University, Brazil

CARDOSO, Fabio de Souza

Doctor, Professor of Electrical Engineering at Amazonas State University, Brazil

FERREIRA, Sobrinho Angilberto Muniz

Doctor, Professor of Electrical Engineering at Amazonas State University, Brazil

BARBOSA, Martins Karolayne

Electrical Engineer of Embedded Systems Laboratory at Amazonas State University, Brasil

PEDRAÇA, Júnior Neirival Rodrigues

Student of Mechanical Engineering at Amazonas State University, Brazil

ABREU Furtado Diogo

Student of Mechanical Engineering at Amazonas State University, Brazil

DA COSTA, Barbosa Isaias

Mechanical Engineer of Embedded Systems Laboratory at Amazonas State University, Brasil

MARTINS, da Costa João Carlos

Mechanical Engineer of Embedded Systems Laboratory at Amazonas State University, Brasil

SICCO, de Oliveira João Victor Reis

Student of Electrical Engineering at Amazonas State University, Brazil

Abstract

Any part or mechanical element, under the action of a compressive force, can be deformed, during this process variations in its state of motion or basically a deformation may appear. When we apply a force to a helical spring, along its axis, it will be stretched or compressed. If, when the external force ceases, the spring recovers its original shape and size, the deformation is said to be elastic. In general, there are force limits beyond which a permanent deformation occurs, which is called the plastic deformation region. Within the elastic limit there is a linear relationship between the applied external force and the strain. In this research, compression tests were developed to prove this behavior for 10 different springs, 5 of standardized manufacture and 5 of regional production in the city of Manaus, state of Amazonas. The results

¹ Corresponding author: edry1961cu@gmail.com

GARCIA, Cisneros Edry Antonio; PRINTES André Luis; SOUZA, Gomes Raimundo Claudio; CARDOSO, Fabio de Souza; FERREIRA, Sobrinho Angilberto Muniz; BARBOSA, Martins Karolayne; PEDRAÇA, Júnior Neirival Rodrigues; ABREU Furtado Diogo; DA COSTA, Barbosa Isaias; MARTINS, da Costa João Carlos; SICCO, de Oliveira João Victor Reis– **Avaliação do Comportamento de Molas Helicoidais Submetidas a Compressão**

made it possible to obtain specific mathematical models for each spring as well as determine the best behavior for its future use in mechanical devices.

Keywords: springs, compression loading, linear mathematical models.

Resumo

Qualquer peça ou elemento mecânico, sob a ação de uma força de compressão pode se deformar, durante este processo poderão aparecer variações no seu estado de movimento ou basicamente uma deformação. Ao aplicarmos uma força em uma mola helicoidal, ao longo de seu eixo, ela será alongada ou comprimida. Se, ao cessar a atuação da força externa, a mola recuperar a sua forma e tamanho originais, diz-se que a deformação é elástica. Em geral, existem limites de força a partir dos quais acontece uma deformação permanente, sendo denominada região de deformação plástica. Dentro do limite elástico há uma relação linear entre a força externa aplicada e a deformação. Nesta pesquisa foram desenvolvidos testes de compressão para comprovar este comportamento para 10 diferentes molas, 5 de fabricação padronizada e 5 de produção regional na cidade de Manaus, Estado do Amazonas. Os resultados possibilitaram obter modelos matemáticos específicos para cada mola assim como determinar as de melhores comportamento visando seu uso futuro em dispositivos mecânicos.

Palavras chaves: molas, carregamento a tração, modelos matemáticos de comportamento.

1. INTRODUÇÃO

As molas helicoidais podem trabalhar em compressão, tração e torção. Além disso, uma mola helicoidal pode ser considerada linear e não linear. Para uma mola helicoidal ser considerada linear, esta precisa ter suas deformações diretamente proporcionais à carga que é submetida, obedecendo à lei de Hooke.

Autores como Askeland; Callister Jr; e Shackelford, afirmam que todo material apresenta uma região com comportamento elástico e quando uma força compressiva ou de estiramento é aplicada sobre ele, este se deforma elasticamente, retornando ao seu tamanho inicial quando a força é retirada. Esta deformação elástica pode ser mais ou menos proeminente dependendo do tipo e estrutura do material em teste. De uma forma geral os metais

apresentam uma região elástica maior do que a observada em cerâmicas e vidros. Neste caso a parte linear da curva de tensão versus deformação dada pela relação $\sigma = E \epsilon$ obedece a lei de Hooke, sendo E o módulo de elasticidade do material (ou módulo de Young) [11,12,13].

Em termos físicos pode-se dizer que os materiais submetidos a esforços de tensão poderão sofrer tipos de deformações: a plástica e a elástica. A deformação do tipo elástica, ao retirar a força aplicada no material, este retorna ao seu tamanho e forma original. A plástica é o tipo de deformação permanente, que ao se tirar a força aplicada o material não retorna a sua forma e comprimento original.

Juvenal afirma que molas são elementos de máquinas capazes de armazenar energia para liberar posteriormente. Seguindo esta definição, como não existe material totalmente rígido, é possível dizer que qualquer material em qualquer formato pode ser considerado uma mola, ainda que em uma faixa muito estreita de aplicação, já que independente da composição, todo material tem um regime elástico. [9]

Uma mola é dita linear quando as deformações sofridas são diretamente proporcionais à força (ou carga) a que ela é submetida. Neste caso essa mola obedece a Lei de Hooke [4,5] e o gráfico da força aplicada em função da deformação da mola (seja esta deformação extensiva ou compressiva) é linear, correspondendo a inclinação da reta a constante elástica da mola, comumente denominada de constante elástica **k**. Esta constante corresponde à rigidez da mola, quanto maior seu valor, mais rígida será a mola, e vice-versa.

Molas helicoidais têm vasta aplicação nos mais diversos segmentos, onde, para níveis de tensão mais elevados, que atingem escalas em MPa, são utilizados materiais metálicos, que contém, como principais características, boa resistência a fadiga, alta tenacidade à fratura e alta elasticidade. Molas metálicas têm seu campo de aplicação limitado a temperaturas inferiores a 600°C, uma vez que acima desta temperatura os elevados níveis de fluência e plasticidade inutilizam sua aplicação [13].

Nos testes de molas é recomendável comprimir a mesma até 90% de seu comprimento pois valores acima podem comprometer o desempenho das mesmas.

A recomendação de deflexão máxima de uma mola helicoidal é de no máximo 90% do total, considerando assim 10% de folga para evitar o toque entre as espiras, uma vez que nem 29 todas as espiras defletem da mesma forma [3].

GARCIA, Cisneros Edry Antonio; PRINTES André Luis; SOUZA, Gomes Raimundo Claudio; CARDOSO, Fabio de Souza; FERREIRA, Sobrinho Angilberto Muniz; BARBOSA, Martins Karolayne; PEDRAÇA, Júnior Neirival Rodrigues; ABREU Furtado Diogo; DA COSTA, Barbosa Isaias; MARTINS, da Costa João Carlos; SICCO, de Oliveira João Victor Reis– **Avaliação do Comportamento de Molas Helicoidais Submetidas a Compressão**

A sua vez a mola não linear não apresenta este comportamento, no caso das molas não lineares duras tendem a perder sua linearidade à medida que suas espiras são inativadas, o que faz com que o número de espiras disponíveis diminua, aumentando a rigidez da mola. Em tanto as molas não lineares macias, tem este comportamento normalmente associado ao tipo de ligações químicas, pois esse tipo de fenômeno é observado em molas não metálicas. [9] Devido à grande competitividade dos mercados, atualmente as empresas estão buscando reduzir seus custos por meio das melhorias da qualidade, flexibilidade, variedade de produtos e inovação [14].

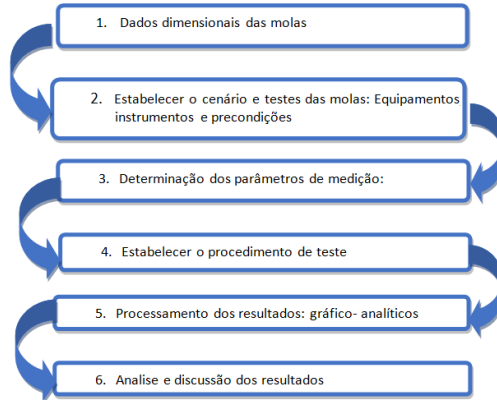
O conhecimento dos comportamentos de molas é de muita utilidade justamente pela incidência que podem ter nos custos produtivos de peças e dispositivos mecânicos.

Molas helicoidais têm vasta aplicação nos mais diversos segmentos, onde, para níveis de tensão mais elevados, que atingem escalas em MPa, são utilizados materiais metálicos, que contém, como principais características, boa resistência a fadiga, alta tenacidade à fratura e alta elasticidade. Molas metálicas têm seu campo de aplicação limitado a temperaturas inferiores a 600°C, uma vez que acima desta temperatura os elevados níveis de fluência e plasticidade inutilizam sua aplicação [14]. Devido a esta situação faz se necessário desenvolver testes para obter as melhores molas quanto a desempenho sem chegar a níveis de compressão que afetem seu comportamento.

No presente trabalho foi feita uma avaliação do comportamento de 10 diferentes molas (de elas 5 de fabricação padronizada e 5 de produção regional no Estado do Amazonas) visando estabelecer os modelos matemáticos que descrevem o comportamento das mesmas ante carregamentos de tração para seu uso em aplicações mecânicas. Os resultados feitos pelos análises de regressão linear permitiram obter modelos matemáticos de tipo lineares com altos coeficientes e determinação e com isso afirmar que estes modelos descrevem adequadamente o comportamento das molas testadas afirmando assim a correspondência com os postulados teóricos ao respeito.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Descrição do procedimento de testes



Fluxograma 1. Sequencia de trabalho. Fonte: Autores

2.2 Descrição do procedimento

1. *Determinação dos parâmetros das molas (dados iniciais) a serem testadas.* Foram definidas 10 molas diferentes, de elas 5 normalizadas e 5 de fabricação regional. Os dados dimensionais foram os seguintes:

Denominação	L, mm	D, mm	d, mm
Mola 1. VN	25	10	1,65
Mola 2. VN	25	12	2,25
Mola 3. AN.	25	10	1,9 x1,6
Mola 4. AN.	25	12	2,6 x2,0
Mola 5. AN	32	10	1,9 x1,6
Mola 6. RFF	22	10,4	1,17
Mola 7. RFF	24	12,5	1,17
Mola 8. RFG	27	14,5	1,50
Mola 9. RFG	30	12,15	1,17
Mola 10. RFG	28,6	15,2	1,50

Tabela 1. Dados gerais das molas testadas. Fonte: Autores

Denominação

VN – Mola Retangular de Cor vermelha, normalizada.

AN – Mola Retangular de Cor amarela, normalizada.

RFF – Mola de fio fino fabricação regional, não normalizada.

RFG – Mola de fio grosso fabricação regional, não normalizada



Figura 2. Foto das molas normalizadas. Fonte: Autores

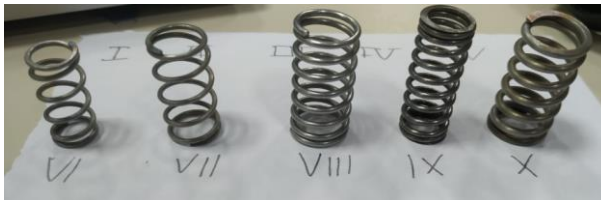


Figura 3. Foto das molas de fio não normalizadas de fabricação regional. Fonte: Autores

2. *Cenário de testes.*

Para o desenvolvimento destes testes é necessário utilizar uma Máquina de Ensaio Universal e PC acoplada para o processamento da informação, paquímetro, fios de arame de aço de 1 mm. Estabelecer como número de testes 12 como resultado da determinação teórica do tamanho da amostra (segundo Levine, 2000), para uma estimativa de erro de 95 %.

3. *Parâmetros de medição e de saída de resultados*

Foram estabelecidos como parâmetros a medir o deslocamento de compressão da mola em mm, a força de compressão em N. Como resultados a se obter foram fixados a tensão de compressão, módulo de elasticidade calculado.

4. *Procedimento de teste.*

- Selecionar a mola para o teste segundo a numeração da tabela.
- Fixar a mola na Máquina de Ensaio Universal.
- Inicia o carregamento da mola por compressão até chegar ao valor máximo.
- Velocidade de compressão de 1 mm por minutos.
- Fixar a cada mm de compressão os valores nos dados da computadora conectada a Máquina de Ensaio Universal.
- Medir o comportamento da carga em N e da tensão de compressão em Mpa.

- Análise de resultados feitos mediante aplicação da norma NBR 15174.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos resultados mostrou (gráfico 2), que no caso do processo de carregamento da mola 1 em função do deslocamento, é o modelo lineal que melhor descreve o comportamento destes fatores, e a equação $F = 25,012x - 2,52214$ ao se obter um coeficiente de determinação de 0.99. Este resultado está em correspondência com a teoria ao respeito, isto significa que o material nesse processo de carregamento segue um comportamento proporcional a sua deformação (de tipo lineal) em correspondência com a lei de Hooke para a zona elástica. Observou-se também que uma vez que o carregamento chega a 7 mm, o material chega à zona de deformação plástica o que faz com que seu comportamento seja diferente (si se incrementa ainda mais o carregamento da mola, o material começará a ter deformação plástica e em correspondência com isso os valores de carregamento e de tensão tendem a diminuir. Para esta mola foi estabelecido o valor do módulo de elasticidade médio: 9,52, o valor máximo da carga sem deformações da elasticidade do material: 145,80 N o máximo valor da tensão sem deformações da elasticidade do material em 2,423 Mpa.

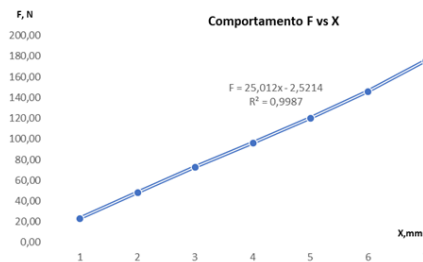


Gráfico 1. Comportamento carregamento Vs deslocamento a compressão da mola 1. Fonte: Autores

Mola 2

Neste caso também foram obtidos resultados similares em termos de modelo matemático de comportamento de tipo lineal (gráfico 3). A equação $F = 41,003x$ foi a de melhor resultado ao se obter um coeficiente de determinação de $R = 0,99$. Para esta mola foi estabelecido o valor do módulo de elasticidade médio: 9,17, o valor máximo da carga sem deformações da elasticidade do material:

GARCIA, Cisneros Edry Antonio; PRINTES André Luis; SOUZA, Gomes Raimundo Claudio; CARDOSO, Fabio de Souza; FERREIRA, Sobrinho Angilberto Muniz; BARBOSA, Martins Karolayne; PEDRAÇA, Júnior Neirival Rodrigues; ABREU Furtado Diogo; DA COSTA, Barbosa Isaias; MARTINS, da Costa João Carlos; SICCO, de Oliveira João Victor Reis– **Avaliação do Comportamento de Molas Helicoidais Submetidas a Compressão**

289,05 N e o máximo valor da tensão sem deformações da elasticidade do material em 3,99 MPa.

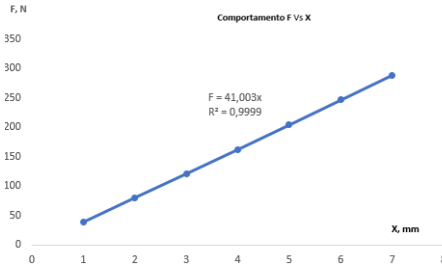


Gráfico 2. Comportamento carga Vs deslocamento da mola 2. Fonte: Autores

Mola 3

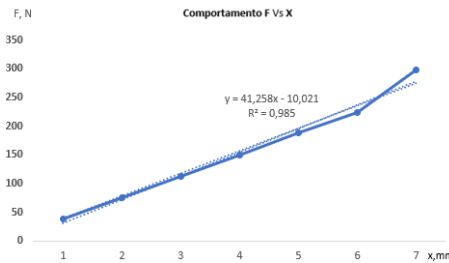


Gráfico 4. Comportamento carregamento Vs deslocamento da mola 3. Fonte: Autores

Analisando os resultados obtidos nos testes de compressão para a mola 3 pode-se afirmar que foram obtidos resultados similares em termos de modelo matemático de comportamento de tipo lineal (gráfico 4). A equação $F = 41,258X - 10,021$ foi a de melhor resultado ao se obter um coeficiente de determinação de $R = 0,98$. Para esta mola foi estabelecido o valor do módulo de elasticidade médio: 13,56, o valor máximo da carga sem deformações da elasticidade do material: 298,48 N e o máximo valor da tensão sem deformações da elasticidade do material em 2,13 MPa.

GARCIA, Cisneros Edry Antonio; PRINTES André Luis; SOUZA, Gomes Raimundo Claudio; CARDOSO, Fabio de Souza; FERREIRA, Sobrinho Angilberto Muniz; BARBOSA, Martins Karolayne; PEDRAÇA, Júnior Neirival Rodrigues; ABREU Furtado Diogo; DA COSTA, Barbosa Isaias; MARTINS, da Costa João Carlos; SICCO, de Oliveira João Victor Reis– **Avaliação do Comportamento de Molas Helicoidais Submetidas a Compressão**

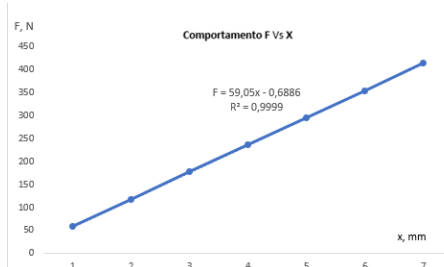


Gráfico 4. Comportamento F Vs X da mola 4. Fonte: Autores

A análise dos resultados mostrou (gráfico 5), que no caso desta mola 4, que durante o processo de carregamento em função do deslocamento, é o modelo lineal que melhor descreve o comportamento destes fatores, e a equação $F = 59,05x - 0,6886$ ao se obter um coeficiente de determinação de 0.99. Este resultado está em correspondência com a teoria ao respeito, isto significa que o material nesse processo de carregamento segue um comportamento proporcional a sua deformação (de tipo lineal) em correspondência com a lei de Hooke para a zona elástica. Observou-se também que uma vez que o carregamento chega perto de 7 mm, o material chega à zona de deformação plástica o que faz com que seu comportamento seja diferente (si se incrementa ainda mais o carregamento da mola, o material começará a ter deformação plástica e em correspondência com isso os valores de carregamento e de tensão tendem a diminuir. Para esta mola foi estabelecido o valor do modulo de elasticidade médio: 21,58 MPa, o valor máximo da carga sem deformações da elasticidade do material: 414,15 N o máximo valor da tensão sem deformações da elasticidade do material em 5,72 Mpa.

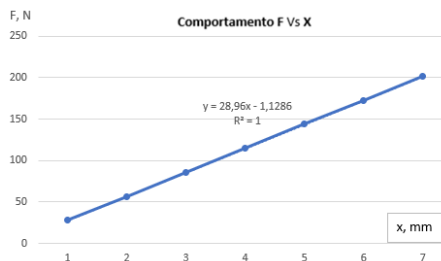


Gráfico 5. Comportamento carregamento Vs deslocamento da mola 5. Fonte: Autores

GARCIA, Cisneros Edry Antonio; PRINTES André Luis; SOUZA, Gomes Raimundo Claudio; CARDOSO, Fabio de Souza; FERREIRA, Sobrinho Angilberto Muniz; BARBOSA, Martins Karolayne; PEDRAÇA, Júnior Neirival Rodrigues; ABREU Furtado Diogo; DA COSTA, Barbosa Isaias; MARTINS, da Costa João Carlos; SICCO, de Oliveira João Victor Reis– **Avaliação do Comportamento de Molas Helicoidais Submetidas a Compressão**

Analisando os resultados obtidos nos testes de compressão para a mola 5 pode-se afirmar que foram obtidos resultados similares em termos de modelo matemático de comportamento de tipo lineal (gráfico 5). A equação $F = 28,96X - 1,1286$ foi a de melhor resultado ao se obter um coeficiente de determinação de $R = 1$. Para esta mola foi estabelecido o valor do modulo de elasticidade médio: 10,95 Mpa o valor máximo da carga sem deformações da elasticidade do material: 201,42 N e o máximo valor da tensão sem deformações da elasticidade do material em 1,58 MPa.

Os resultados das molas padronizadas mostraram um comportamento bastante similar o que ratifica a uniformidade nos comportamentos das molas produzidas por ter um padrão de produção de alta qualidade.

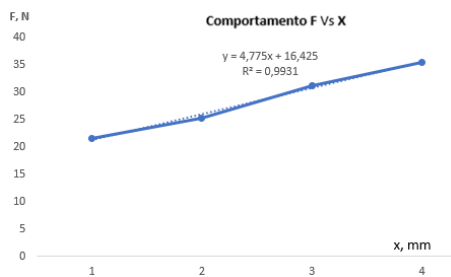


Gráfico 6. Comportamento carregamento Vs deslocamento da mola 6.

Fonte: Autores

A análise dos resultados da mola 6, mostrou (gráfico 7), que no caso desta mola, que durante o processo de carregamento em função do deslocamento, é o modelo lineal que melhor descreve o comportamento destes fatores, e a equação $F = 4,975x + 14,925$ ao se obter um coeficiente de determinação de 0.99. Esta mola teve uma deformação de 4 mm. Este resultado está em correspondência com a teoria ao respeito, isto significa que o material nesse processo de carregamento segue um comportamento proporcional a sua deformação (de tipo lineal) em correspondência com a lei de Hooke para a zona elástica. Observou-se também que no processo de carregamento inicial a deformação era muito pequena o é explicado elevado coeficiente de elasticidade do material da mola que foi de 64,83 MPa; assim como a pouca capacidade de assimilação da carga que ocupou um valor máximo de 35,49 N. Para esta mola foi estabelecido o valor o máximo valor da tensão sem deformações da elasticidade do material em 0,385 Mpa.

Análise de resultados e conclusões para mola 7 e 8

Os resultados obtidos nestas duas molas foram bem explicativos das características construtivas destas molas ao apresentarem somente deformação para uma carga de 20,44 N e 20,74 N respectivamente, sendo que a máquina de ensaio Universal só registra valores acima de 20 N; estes dados não permitiram desenvolver análises estatísticas de rigorosidade, visto que o deslocamento máximo prefixado foi de 7 mm.

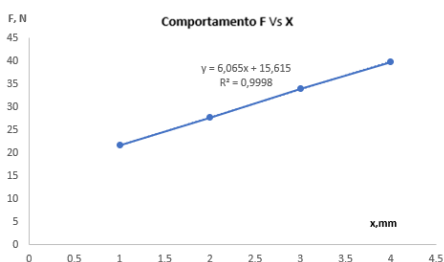


Gráfico 7. Comportamento carregamento Vs deslocamento da mola 9.
Fonte: Autores

A análise dos resultados da mola 9, mostrou (gráfico 7), que no caso desta mola, que durante o processo de carregamento em função do deslocamento, é o modelo linear que melhor descreve o comportamento destes fatores, e a equação $F = 6,065X + 15,615$ ao se obter um coeficiente de determinação de 0.99. Este resultado está em correspondência com a teoria ao respeito, isto significa que o material nesse processo de carregamento segue um comportamento proporcional a sua deformação (de tipo linear) em correspondência com a lei de Hooke para a zona elástica. O maior valor de carga obtido foi de 39,78 N e a seu máximo módulo de elasticidade ocupou um valor de 4,02 Mpa. Para esta mola foram gerados 4 valores médios de carga, este resultado é explicado pelos baixos valores de carga obtidos.

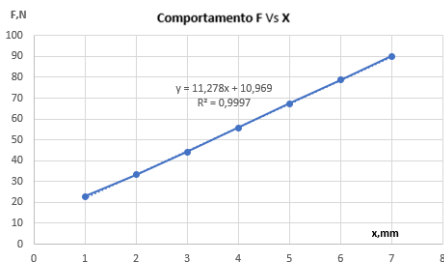


Gráfico 8. Comportamento carregamento X deslocamento da mola 10.
Fonte: Autores

GARCIA, Cisneros Edry Antonio; PRINTES André Luis; SOUZA, Gomes Raimundo Claudio; CARDOSO, Fabio de Souza; FERREIRA, Sobrinho Angilberto Muniz; BARBOSA, Martins Karolayne; PEDRAÇA, Júnior Neirival Rodrigues; ABREU Furtado Diogo; DA COSTA, Barbosa Isaias; MARTINS, da Costa João Carlos; SICCO, de Oliveira João Victor Reis– **Avaliação do Comportamento de Molas Helicoidais Submetidas a Compressão**

A análise dos resultados da mola 6, mostrou (gráfico 9), que no caso desta mola, que durante o processo de carregamento em função do deslocamento, é o modelo lineal que melhor descreve o comportamento destes fatores, e a equação $F= 11,278x + 10,969$ ao se obter um coeficiente de determinação de 0.99. Observou-se também que no processo de carregamento esta mola de fabricação local obteve valores superiores a outros o é explicado elevado coeficiente de elasticidade do material da mola que foi de 64,83 MPa; assim como a pouca capacidade de assimilação da carga que ocupou um valor máximo de 35,49 N. Para esta mola foi estabelecido o valor o máximo valor da tensão sem deformações da elasticidade do material em 0,385 MPa.

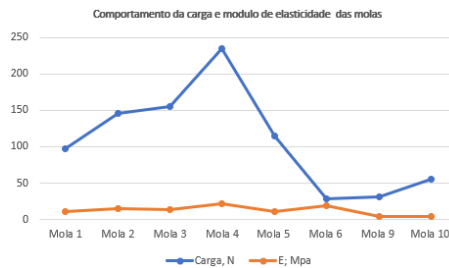


Gráfico 9. Comportamento do carregamento e do coeficiente elástico das molas testadas. Fonte Autores.

Mola 1	Mola 2	Mola 3	Mola 4	Mola 5	Mola 6	Mola 9	Mola 10
23,39	39,13	37,63	58,63	27,88	0	0	22,88
48,21	80,64	74,89	117,44	56,54	0	0	33,35
72,71	121,39	112,54	176,87	85,77	0	0	44,2
96,46	162,56	150,17	235,55	114,92	20,54	21,65	55,85
120,15	204,42	187,73	293,28	143,79	25,26	27,71	67,35
145,8	246,7	223,61	352,65	172,66	30,16	33,97	78,8
175,96	289,05		414,15	201,42	35,49	39,78	90,12

Tabela 2. Resultados dos valores de forças(N) das molas. Fonte: Autores

Analisando os resultados tabelados dos valores das forças das molas testadas assim como os valores médios das cargas e modulo de elasticidade obtidos nos testes das molas testadas (gráfico 10), é possível afirmar que a mola 4 (molas padronizadas) teve os melhores valores dos dois indicadores avaliados ocupando valores de 235,51 Mpa para a carga e de 21,58 Mpa no caso do modulo de elasticidade entre todas as molas avaliadas. Com relação ao comportamento das molas de produção local a mola 10 teve o melhor

GARCIA, Cisneros Edry Antonio; PRINTES André Luis; SOUZA, Gomes Raimundo Claudio; CARDOSO, Fabio de Souza; FERREIRA, Sobrinho Angilberto Muniz; BARBOSA, Martins Karolayne; PEDRAÇA, Júnior Neirival Rodrigues; ABREU Furtado Diogo; DA COSTA, Barbosa Isaias; MARTINS, da Costa João Carlos; SICCO, de Oliveira João Victor Reis– **Avaliação do Comportamento de Molas Helicoidais Submetidas a Compressão**

comportamento no indicador e carga, ocupando o valor de $F = 56,07$ Mpa, já a mola 6 teve o maior valor do coeficiente de elasticidade com um valor de $E = 4,17$ Mpa respectivamente.

4. CONCLUSÕES

A avaliação do comportamento das molas submetidas a compressão permitiu avaliar o comportamento das molas sob ação das cargas aplicadas e obter os modelos que descrevem o comportamento das mesmas.

Os modelos lineais obtidos por análise de regressão indicam que os resultados dos testes práticos coincidem com a teoria, essas molas ditas de lineares justamente pelo seu comportamento: deformações proporcionais as forças ou cargas recebidas, este fato foi comprovado nos testes como mostrado nos gráficos.

Foi comprovado a existência de diferenças significativas na deformação das molas submetidas a cargas compressivas, devido fundamentalmente a os materiais das molas, dimensões, geometria e a forma de fabricação.

Analisando os valores médios das cargas e dos módulos de elasticidade obtidos nos testes possibilitaram definir as molas com os resultados mais favoráveis, significando que a mola 4 (molas padronizadas) teve os melhores valores dos dois indicadores avaliados ocupando valores de 235,51 Mpa para a carga e de 21,58 Mpa no caso do modulo de elasticidade entre todas as molas avaliadas.

As molas testadas mostraram a possibilidade de aplicação em diferentes produtos e dispositivos, muitas vezes ajudam a substituir elementos de maior custo de produção devido a capacidade de acumulação de energia por longos períodos sem perder efetividade durante seu funcionamento.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Laboratório de Sistemas Embarcados do HUB de Tecnologia da Escola Superior de Tecnologias da Universidade do Estado do Amazonas.

REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM ISO 6507-1:2019: Vickers Hardness Test Part 1: Test Method. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 6508-1:2019: Rockwell Hardness Test Part 1: Test Method. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

GARCIA, Cisneros Edry Antonio; PRINTES André Luis; SOUZA, Gomes Raimundo Claudio; CARDOSO, Fabio de Souza; FERREIRA, Sobrinho Angilberto Muniz; BARBOSA, Martins Karolayne; PEDRAÇA, Júnior Neirival Rodrigues; ABREU Furtado Diogo; DA COSTA, Barbosa Isaias; MARTINS, da Costa João Carlos; SICCO, de Oliveira João Victor Reis– **Avaliação do Comportamento de Molas Helicoidais Submetidas a Compressão**

- [3] ARANHA N. et al. lei de Hooke e as molas não lineares, um estudo de caso Rev. Bras. Ensino Fis. vol.38 no.4 São Paulo Epub July 18, 2016 A
- [4] D.C. Freeman Jr., Nonlinear Springs with Applications to Flow Regulation Valves and Mechanisms Doctorate of Philosophy in Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 2008.
- [5] D.H. Young e R.A. Freedman, Física II (Pearson Education do Brasil, São Paulo, 2003), 10ª ed.
- [6] D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, Fundamentos de Física 1 (LTC, Rio de Janeiro, 2006), 7ª ed.
- [7] J.W. Jewett e R.A. Serway, Física para Cientistas e Engenheiros – Mecânica, Vol. 1 (CENGAGE Learning, São Paulo, 2012), 8ª ed.
- [8] D.R. Askeland e P.P. Phulé, Ciência e Engenharia dos Materiais (CENGAGE Learning, São Paulo, 2008).
- [9] JUVINAL, R. C.; MARSHEK, K. M. Fundamentals-of-machine-componentdesign. 5. ed. Nova York: John Wiley, 2011.
- [10] D.R. Askeland e P.P. Phulé, Ciência e Engenharia dos Materiais (CENGAGE Learning, São Paulo, 2008).
- [11] W.D. Callister Jr., Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução (LTC Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 2002), 5ª ed.
- [12] J.F. Shackelford, Ciência dos Materiais (PEARSON Prentice Hall, São Paulo, 2008), 6ª ed.
- [13] MENGMEG, Z. et al. Fabrication and high-temperature properties of Y-TZP ceramic helical springs by a gel-casting process. Ceram. Int., v.41, n. 1, p. 5421- 5428, 2015.
- [14] XU, Y, ELGH, E., ERKOYUNCU, J. A., BANKOLE, O., GOH, Y., CHEUNG, W. M., BAGULEY, P., WANG, Q., ARUNDACHAWAT, P., SHEHAB, E., NEWNES, L., ROY, R. Cost Engineering for manufacturing: Current and future research. In: International Journal of Computer Integrated Manufacturing. Londres: v.25, n.4-5, 2012. 300-314p.