

Determinação Teórico Experimental de Energia em Molas Helicoidais

GOMES, RAIMUNDO CLÁUDIO SOUZA

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

CISNEROS, EDRY ANTONIO GARCIA¹

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

PRINTES ANDRÉ LUIZ

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

CARDOSO, FÁBIO DE SOUZA

FERREIRA, ANGILBERTO MUNIZ SOBRINHO

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

MARTINS, KAROLAYNE BARBOSA

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

TORNÉ, ISRAEL GONDRES

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

PEDRAÇA JÚNIOR, NEIRIVAL RODRIGUES

ABREU, DIOGO FURTADO

Student of Mechanical Engineering at Amazonas State University, Brazil

BARBOSA, ISAIAS DA COSTA

COSTA, JOÃO CARLOS MARTINS DA

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

Abstract

Springs are mechanical elements capable of undergoing elastic deformation, storing elastic potential energy and, when used for this purpose, they appear on the market in a wide variety of formats and different compositions. The use of this energy is very useful in the development of various mechanical devices such as puncture devices, triggering devices, among others. To determine the energy of the oscillator, it is necessary to consider that as the restoring force of the spring is a conservative force, the mechanical energy of the system is conserved, that is, it is constant. In this work, research was carried out to determine the hardness of the three types of metallic seals and impact force was also determined as a function of the deformation of the seal as well as the minimum energy necessary to guarantee the impact force of deformation of the seal. The importance of work is related to the relationship established between force and deformation with the elastic energy accumulated by the spring.

¹ Corresponding author: edrycu1961@gmail.com

GOMES, Raimundo Cláudio Souza; CISNEROS, Edry Antonio Garcia; PRINTES, André Luiz; CARDOSO, Fábio de Souza; FERREIRA, Angilberto Muniz Sobrinho; MARTINS, Karolayne Barbosa; TORNÉ, Israel Gondres; PEDRAÇA JÚNIOR, Neirival Rodrigues; ABREU, Diogo Furtado; BARBOSA, Isaias da Costa; COSTA, João Carlos Martins da- **Determinação Teórico Experimental de Energia em Molas Helicoidais**

Keywords: helical springs, spring elastic energy, forces, deformations.

Resumo

As molas são elementos mecânicos capazes de sofrer deformação elástica, armazenando energia potencial elástica e quando usada para este fim a mesma aparece no mercado com uma grande diversidade de formatos e diferentes composições. O uso desta energia de grande utilidade no desenvolvimento de dispositivos mecânicos diversos como dispositivos de punção, de disparo entre outros. Para determinar a energia do oscilador é necessário considerar que como a força restauradora da mola é uma força conservativa, a energia mecânica do sistema se conserva, ou seja, é constante. Neste trabalho foram feitas pesquisas determinar a dureza dos três tipos de lacres metálicos e também foi determinada força de impacto em função da deformação do lacre assim como a energia mínima necessária para garantir a força de impacto de deformação do lacre. A importância do trabalho está relacionada com a relação estabelecida entre força e deformação com a energia elástica acumulada pela mola.

Palavra chaves: molas helicoidais, energia elástica da mola, forças, deformações.

INTRODUÇÃO

Pode-se definir mola com sendo um único elemento ou uma associação de elementos capaz de assumir notáveis deformações elásticas quando submetida a forças ou momentos, em condições de armazenar energia potencial elástica. [2].

Segundo [9], as molas helicoidais de compressão são projetadas de modo a acumular forças durante a sua compressão e exercê-las no sentido de “empurrar”. São construídas no formato helicoidal paralelo ou cônico.

Existem diversos tipos de mola, sendo as mais comuns as do tipo helicoidal. A necessidade desta diversidade de molas se deve ao fato de existirem diversas aplicações com necessidades particulares, como em veículos ferroviários, nos suportes de máquinas – ferramenta, no setor automotivo, como amortecedores em diversas máquinas e equipamentos e numa infinidade de outras aplicações.

Quando está isolada, uma mola permanece em equilíbrio e não possui energia potencial armazenada. Se pressionada ou esticada, a mola reage com

uma força contrária à que nela atua. A força que atua na mola altera alguma propriedade física dela (em geral, essa propriedade é o comprimento). Enquanto permanece comprimida ou esticada, a mola possui energia potencial (no caso, potencial elástica) armazenada. Se a força deixa de atuar, a mola libera energia potencial rapidamente, tendendo a voltar ao equilíbrio [5].

Uma mola ao sofrer deformações acumula energia potencial elástica. Esta energia possui uma força associada que é chamada força restauradora, ou força elástica, que é proporcional ao deslocamento da posição de equilíbrio [6].

Esta força é dada por $F = K * X$ 1.

Esta expressão e justamente a lei de Hooke, esta lei é usada para calcular a **força elástica** que é produzida pela **deformação** de uma mola ou outros materiais elásticos. Quando um corpo elástico é **comprimido** ou **esticado**, uma força restauradora tende a fazê-lo voltar ao seu formato original. Tal força é proporcional à deformação sofrida pelo corpo, bem como à sua constante elástica.

Energia potencial elástica é a forma de energia que é adquirida por corpos elásticos capazes de retornarem ao seu formato original após sofrerem algum tipo de deformação. A energia potencial elástica depende da constante elástica do corpo, bem como do tamanho da deformação sofrida por ele.

Quando se aplica força em corpos elásticos, eles se deformam, passando a estocar energia potencial elástica. Caso cesse a força, a energia potencial elástica será convertida em energia cinética. Nesse caso, pode se afirmar que houve realização de trabalho pela força elástica.

Materiais dúcteis e materiais frágeis, especificamente metais, comportam-se diferentemente no ensaio de compressão. Enquanto os metais frágeis rompem praticamente sem fase elástica, os metais dúcteis sofrem grande deformação na fase plástica, às vezes sem atingir a ruptura [3].

Quer sejam comprimidos, quer sejam esticados, os corpos elásticos armazenarão energia potencial elástica. Tal energia surge quando esses corpos não assumem tamanhos diferentes daqueles que teriam caso não estivessem sob a ação de nenhuma força. [1]

As molas do tipo helicoidal são aplicadas em diversas situações, sendo o modelo mais comum entre os tipos encontrados no mercado. Formadas por um fio enrolado em forma de espiral, possuem a flexibilidade ideal para serem esticadas e voltarem ao seu estado de equilíbrio, realizando movimentos que permitem absorver energia como o amortecimento de

automóveis, transferir energia como as molas usadas em dispositivos de disparo entre outros.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho tem como proposta realizar a análise teórico experimental de molas para determinar a energia potencial estática de uma mola helicoidal de compressão, e, para tanto, tal análise foi dividida nos seguintes itens:

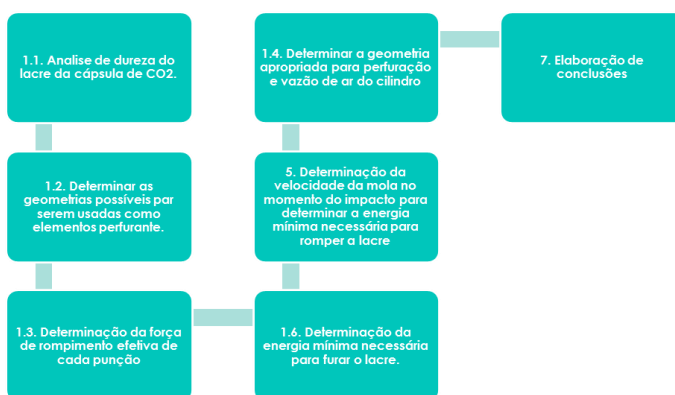


Figura 1 Sequencia metodologica da pesquisa. Fonte: Autores, 2022

Para a realização deste trabalho, o uso de alguns equipamentos foi necessário. Eles serão mencionados em cada atividade desenvolvida.

RESULTADOS E ANALISES

1. Análise de dureza do lacre da cápsula de CO₂

O termo “teste de dureza” usualmente se refere a impressões estáticas provocadas por cargas entre 1 kg e 100 kg, sendo considerado de baixa força quando as cargas estiverem entre 0,2 kg e 5 kg.[4].

O instrumento para medir a dureza é o durometro. A seguir um exemplo de durometro Vickers.



Figura 2 Durometro Vickers. Fonte: Tecnimetal, 2019

No ensaio em questão, o penetrador é pressionado com uma carga pré-determinada sobre a amostra, deixando assim uma marcação que terá suas dimensões medidas para determinar a dureza específica do material.

A amostra preparada segundo estabelecido e O durometro está esta calibrado conforme as normas ISO 6507, ASTM E-92, ASTM E-384. [10].

O penetrador para tal ensaio foi a pirâmide de diamante Vickers, que pode ser observada, esquematicamente, na figura 2.

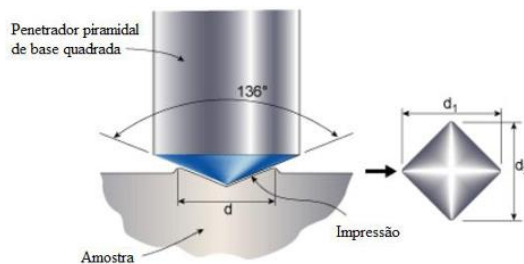


Figura 3 Penetrador tipo pirâmide. Fonte: Weebly ,2017.

A seguir o procedimento utilizado:

- Estabelecimento dos tipos de lacres a serem testados: Lacre 1, lacre 2 e lacre 3.
- Usinagem do cilindro para obter a superfície do lacre.
- Estabelecimento do procedimento de teste segundo a NBR ISSO 6508-1, adotando uma força de 980 N e mensurando 4 pontos da amostra analisada. Ensaio de dureza Vickers. Instrumento durometro e penetrador tipo pirâmide.
- Determinação da dureza Vickers em HV.



Figura 4. Tipos de lacs. Fonte: Autores, 2022

A dureza e determinada em 4 pontos para cada lace testado. Os valores médios serão tabulados.

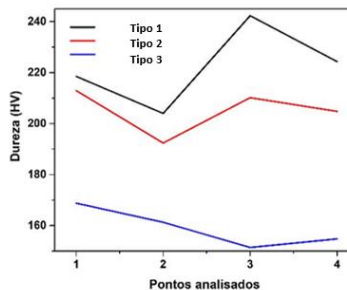


Figura 5 Resultados gráficos nos 4 pontos testados. Fonte: Autores, 2022

Para obter os resultados foram determinados os valores médios de dureza nos quatro pontos determinados, estes valores tabulados permitiram obter os valores de dureza (Figura 3 e Tabela 1), os mesmos mostram que as durezas dos lacs oscilam entre valores de 105,08HV e 222,28 HV respectivamente. Estes valores permitiram obter a força de impacto necessário para furar os lacs testadas.

Como observado o maior valor para o lace tipo I cilindro sem rosca com um valor de 222,28 HV e o menor para o lace tipo 3 cilindro com rosca com um valor de 158,08 HV. O valor da amostra do cilindro tipo 2 ocupou um valor de dureza de 205,10 HV.

GOMES, Raimundo Cláudio Souza; CISNEROS, Edry Antonio Garcia; PRINTES, André Luiz; CARDOSO, Fábio de Souza; FERREIRA, Angilberto Muniz Sobrinho; MARTINS, Karolayne Barbosa; TORNÉ, Israel Gondres; PEDRAÇA JÚNIOR, Neirival Rodrigues; ABREU, Diogo Furtado; BARBOSA, Isaias da Costa; COSTA, João Carlos Martins da- **Determinação Teórico Experimental de Energia em Molas Helicoidais**

Análises das durezas dos lacres	
Amostras	Valores médios, (HV)
Tipo 1 (Leland sem roscas)	22,28
Tipo 2 (Leland com roscas)	205,10
Tipo 3 (Leão com roscas)	159,08

Tabela 1. Resultado dureza dos lacres, HV. Fonte: Autores, 2022

2. Determinar as geometrias dos elementos de perfuração.

Este passo é necessário para determinar as possíveis geometrias do elemento de punção que consiga perfurar o lacre. Foram selecionadas geometrias de acordo com a pratica profissional ao respeito que usa basicamente geometrias plana e em ângulo e variações de este tipo. Foram consideradas geometrias planas e em ângulo.

Foram determinados 5 tipos de geometrias: Fenda, Plano, tipo lança, em ângulo e cônica.

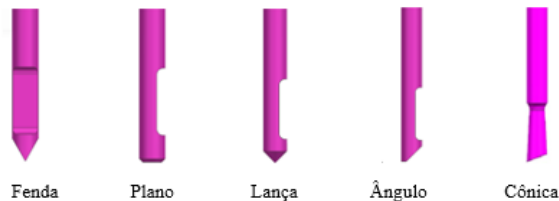


Figura 6. Geometrias do punções. Fonte: Autores, 2022

Em todos os casos, considerou-se obter um ângulo que favorecesse a furação do lacre; isso foi obtido dos cinco tipos selecionados, pois no caso da geometria do tipo plana não foi exatamente assim, devido a que o ângulo é obtido através do chanfro feito para eliminar os cantos vivos da ponta da punção.

3. Determinação da força de rompimento efetiva de cada punção

Uma vez determinadas as geometrias deste elemento de punção, foi necessário então, verificar experimentalmente, qual a força necessária para romper a lacre dos cilindros com punções usando as geometrias definidas.

A seqüência procedimental foi:

- Colocar o cilindro no dispositivo de teste desenvolvido para esta operação.
- Fixar este dispositivo na Máquina de Ensaio Universal mediante uniões parafusadas.
- Colocar a parte superior do dispositivo guia da punção.
- Posicionar a punção no furo guia do dispositivo.

GOMES, Raimundo Cláudio Souza; CISNEROS, Edry Antonio Garcia; PRINTES, André Luiz; CARDOSO, Fábio de Souza; FERREIRA, Angilberto Muniz Sobrinho; MARTINS, Karolayne Barbosa; TORNÉ, Israel Gondres; PEDRAÇA JÚNIOR, Neirival Rodrigues; ABREU, Diogo Furtado; BARBOSA, Isaias da Costa; COSTA, João Carlos Martins da- **Determinação Teórico Experimental de Energia em Molas Helicoidais**

- Montagem do dispositivo de disparo mola punção na Máquina de Ensaio Universal.
- Ligar a Máquina de Ensaio Universal a computador para registrar os valores.
- Acionar para verificação da carga necessária para o rompimento do lacre.

A gráfica da figura 7 permite observar que as geometrias testadas mostraram valores diferentes. O maior valor no caso da geometria tipo plana e o menor para a geometria tipo fenda.

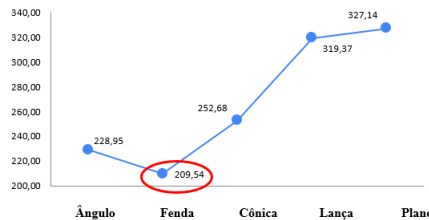


Figura 7 Força de rompimento efetivo de cada punção.
Fonte: Autores, 2022

Tipos de geometria da punção	Valores médios das cargas, N
Ângulo	228,95
Fenda	209,54
Cônica	252,68
Lança	319,37
Plano	327,14

Tabela 2. Valores médios das cargas.
Fonte: Autor, 2022.

Os resultados obtidos (Tabela 2) mostraram que a geometria de fenda ou de chanfro foi a de melhor comportamento ao se obter o menor valor médio 209,54 N de esforço para romper a lacre. A geometria tipo ângulo também mostrou bons resultados ao se obter valores médios de cargas na ordem de 228,95 N.

Com as restantes geometrias conseguiu-se também furar o lacre, mas os valores médios obtidos de carga foram muito superiores o que demandaria maiores esforços caso deseje se utilizar molas. Os menores valores favorecerão a escolha de uma mola com menores dimensões e com isso uma redução de espaço efetivo de trabalho da mesma.

4. Determinar a geometria apropriada para perfuração e vazão de ar do cilindro.

Após a seleção das cinco geometrias, e obter-se resultados positivos na furação do lacre procede-se desenvolver testes de verificação da penetração da punção para determinar então a variante que atenda melhor atenda aos requisitos de furação e vazão de gás.

O procedimento se expõe a continuação:

- Colocar o cilindro no dispositivo de teste desenvolvido para esta operação.

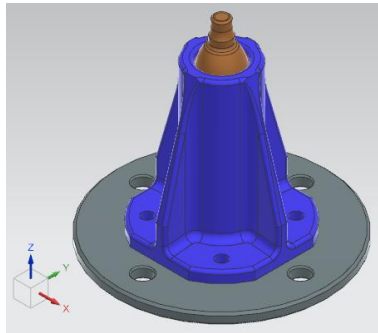


Figura 8. Dispositivo desenvolvido para testes de molas.

Fonte: Autores, 2022

- Fixar este dispositivo na Máquina de Ensaio Universal mediante uniões parafusadas.
- Montagem do sistema de disparo mola punção na Máquina de Ensaio Universal. Ver figura 8.



Figura 9. Máquina de ensaio universal.

Fonte: Autores, 2022.

- Carregar o sistema de disparo mediante a compressão da mola tracionando este pela parte superior móvel da máquina de Ensaio Universal, utilizando um fio de nylon de 0,7 mm.
- Conferir o valor do deslocamento da compressão da mola.
- Cortar o fio e observar o processo de furação e vazão de gás.
- Repetir o teste.
- Analisar resultados e determinar qual geometria ofereceu os melhores resultados de vazão do gás.

Os resultados mostraram que a geometria de fenda ofereceu os melhores resultados em relação a corte do laque mais não apresentava uma boa penetração. A geometria de ângulo, por sua vez, possibilitou tanto um bom rompimento do laque quanto boa penetração para vazão de gás. Este teste permitiu determinar que a geometria de ângulo será a utilizada posteriormente nos testes de rompimento do laque.

5. Determinação da velocidade da mola no momento do impacto para determinar a energia mínima necessária para romper a laque.

Para determinar a velocidade foram desenvolvidos dois processos, um teórico e outro mediante o uso do NX Siemens, simulando o comportamento do sistema mola punção perfurando a laque.

As expressões para a determinação teórica foram baseadas no conceito de balanço geral de energia, neste caso pode-se considerar como a somatória da energia potencial elástica e energia cinética da mola.

$$p = \frac{KX^2}{2} \quad 2$$

$$Ec = mV^2/2 \quad 3$$

Observando que todas as unidades estão no Sistema Internacional.

Da teoria Newtoniana sabe se que o equilíbrio neste caso pode-se expressar como:

$$Ep - Ec = 0 \quad 4$$

$$Ep = Ec \quad 5$$

$$V^2 = \frac{KX^2}{m} \quad 6$$

$$V = \sqrt{\frac{KX^2}{m}} \quad 7$$

Sendo os dados iniciais:

Massa do corpo punção = 4,5 g

Constante elástica da mola(K) = 5000 N/m

GOMES, Raimundo Cláudio Souza; CISNEROS, Edry Antonio Garcia; PRINTES, André Luiz; CARDOSO, Fábio de Souza; FERREIRA, Angilberto Muniz Sobrinho; MARTINS, Karolayne Barbosa; TORNÉ, Israel Gondres; PEDRAÇA JÚNIOR, Neirival Rodrigues; ABREU, Diogo Furtado; BARBOSA, Isaias da Costa; COSTA, João Carlos Martins da- **Determinação Teórico Experimental de Energia em Molas Helicoidais**

Outros dados da mola aparecem figuram 10, pode se observar as indicações dimensionais da mola helicoidal

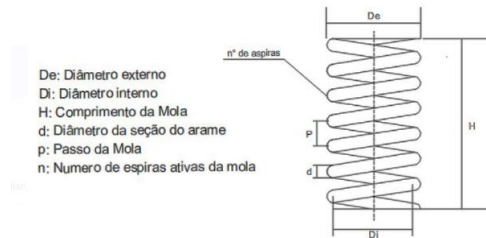


Figura 10. Elementos da mola helicoidal.
Fonte: Autores, 2022

A mola foi medida utilizando um paquímetro digital da fabricante Mitutoyo, sendo que, através da correta manipulação do mesmo e usando-se a graduação em milímetros, foram obtidas as medidas da mola, que podem ser observadas na tabela a seguir.

Denominação	Valores medidos Mola	
	1	Mola 2
Diâmetro externo da mola (D), mm	8,4	9,77
Diâmetro do arame da mola (d), mm	1,2	1,2
Comprimento da mola, mm	32	27
Deslocamento a compressão, mm	16,1	14

Tabela 3. Dimensões das molas testadas.
Fonte: Autores, 2022

Logo a velocidade teórica calculada para a massa da punção será de:

$$V = 14,75 \text{ m/s}$$

Já a determinação da velocidade mediante o uso do NX Siemens foi feita inicialmente desenhando-se o conceitual do projeto e atribuindo as propriedades mecânicas corretas conforme figura abaixo:

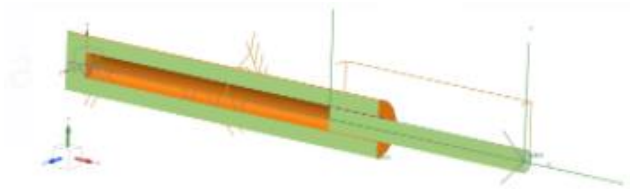


Figura 10. Modelo conceitual do dispositivo.
Fonte: Autores, 2022

GOMES, Raimundo Cláudio Souza; CISNEROS, Edry Antonio Garcia; PRINTES, André Luiz; CARDOSO, Fábio de Souza; FERREIRA, Angilberto Muniz Sobrinho; MARTINS, Karolayne Barbosa; TORNÉ, Israel Gondres; PEDRAÇA JÚNIOR, Neirival Rodrigues; ABREU, Diogo Furtado; BARBOSA, Isaias da Costa; COSTA, João Carlos Martins da- **Determinação Teórico Experimental de Energia em Molas Helicoidais**

Assim foi possível simular dinamicamente o conjunto podendo gerar o gráfico de velocidade até o momento de impacto, onde é representado pelo ponto máximo do gráfico, considera-se para efeito de gerar o gráfico que a velocidade continua constante.

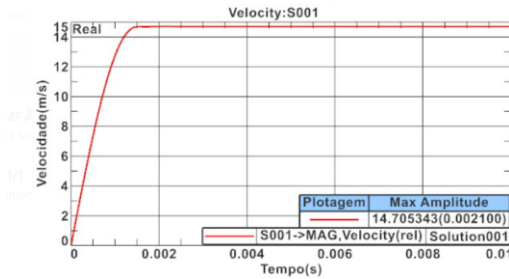


Figura 11. Resultado da simulação mediante o software NX Siemens.
Fonte: Autores, 2022

Os resultados da simulação via NX mostraram que a velocidade máxima de impacto da punção foi aproximadamente de 14,7 m/s.

Analisando e comparando os resultados obtidos pelas expressões teóricas e pela via do software NX pode se afirmar que os resultados coincidem em mais de um 95 % o que indica fiabilidade nos cálculos e no uso do software NX.

6. Determinação da energia mínima necessária para furar o lacre.

A determinação teórica pratica desta energia foi baseada nos resultados obtidos nos testes de força de impacto, e a determinação da velocidade da mola no momento do impacto para determinar a energia mínima necessária para romper a lacre. Em posse destes dados procede-se então a determinar a energia mínima necessária para romper o lacre do cilindro.

Testes	Mola Tipo	K, N/mm	Def. inicial, mm	Def. final, mm	Energia Joules	Observações Furação efetiva
Deformação 1	27xø9,77	6,45	5	13	0,206	s
Deformação 2			5	14	0,261	s
Deformação 1	32x ø8,4	3,94	5	15,1	0,201	n
Deformação 2			5	16,1	0,243	s

Tabela 4. Cálculos da energia para as duas molas testadas.
Fonte: Autores, 2022

A energia definida para o rompimento do lacre até chegar à deformação final foi estabelecida em 200 N.mm(0,2 J).

GOMES, Raimundo Cláudio Souza; CISNEROS, Edry Antonio Garcia; PRINTES, André Luiz; CARDOSO, Fábio de Souza; FERREIRA, Angilberto Muniz Sobrinho; MARTINS, Karolayne Barbosa; TORNÉ, Israel Gondres; PEDRAÇA JÚNIOR, Neirival Rodrigues; ABREU, Diogo Furtado; BARBOSA, Isaias da Costa; COSTA, João Carlos Martins da- **Determinação Teórico Experimental de Energia em Molas Helicoidais**

Foram testadas as duas molas com os melhores performance das anteriormente testadas. O coeficiente de deformação elástico das molas foi obtido via calculo mediante os resultados experimentais. A geometria da punção usada também foi a de melhor performance no caso de tipo fenda.

A energia mínima recomendada então fixa-se em 243 N mm (0,243 J). Este valor está acima do real prefixado, mas visa melhor segurança na efetividade do funcionamento do dispositivo. Todos os testes desenvolvidos com esta energia resultaram positivos ne referente a efetividade da furação.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos na pesquisa possibilitaram determinar via experimental a dureza do lacre das cápsulas de CO₂ selecionadas assim como as geometrias possíveis para serem usadas como elementos perfurante, também foi comprovado que a de tipo fenda teve o melhor comportamento referido a penetração.

A determinação teórico experimental da energia nas duas molas helicoidais selecionadas possibilitou validar as expressões de cálculos de molas referidas na bibliografia assim como verificar o desempenho do software NX ao se obter valores semelhantes estatisticamente comprovados com alto grau de confiabilidade.

Os valores de energia mínima determinados na pesquisa poderão ser usados como referência para aplicações variadas em dispositivos de disparo ou outros similares.

BIBLIOGRAFIA

1. ALMEIDA J C. Elementos de Máquinas I. Universidade Federal do Paraná. 2016. Paraná. Brasil.
2. ARCANJO, Edgar P. Caracterização do comportamento a fadiga de molas. 2008. 45 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2008.
3. CIMM. Ensaios mecânicos. Disponível em: <http://www.cimm.com.br/portal/material_didático/6519#.WWJ_L4TyvIU>. Acesso em: 14 maio 2017.
4. EMCOTEST. DuraScan: micro hardner tester catalog. Atenas, 2009. Disponível em: <http://www.priniotakis.gr/catalog2/manuals/DuraScan_EN3023.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2017.
5. FILHO, Jose H. D. Molas: funcionamento, propriedades e utilidades. Montes Claros, 2011. Disponível em: <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=31537>. Acesso em: 11 jul. 2019.
6. HALLIDAY, RESNIK. Fundamentos de Física. Mecânica. LTC. Decima edição. 2016.

GOMES, Raimundo Cláudio Souza; CISNEROS, Edry Antonio Garcia; PRINTES, André Luiz; CARDOSO, Fábio de Souza; FERREIRA, Angilberto Muniz Sobrinho; MARTINS, Karolayne Barbosa; TORNÉ, Israel Gondres; PEDRAÇA JÚNIOR, Neirival Rodrigues; ABREU, Diogo Furtado; BARBOSA, Isaias da Costa; COSTA, João Carlos Martins da- **Determinação Teórico Experimental de Energia em Molas Helicoidais**

7. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 6507: metallic materials – Vickers hardness test. Geneva, 2005.
8. EMCOTEST. DuraScan: micro hardner tester catalog. Atenas, 2009. Disponível em: <http://www.priniotakis.gr/catalog2/manuals/DuraScan_EN3023.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2017.
9. SERVIMOLAS. Molas helicoidais de compressão. Disponível <<http://www.servimolas.pt/molas-helicoidais/compressao>> Acesso em: 31 maio 2017
10. ROHDE, Regis A. Metalografia: preparação de amostras. Disponível em: <<http://www.urisan.tche.br/~lemm/metalografia.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2016.