



ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE A APLICAÇÃO DO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS PARA ANÁLISE DE PEÇAS DE BORRACHA NO ISOLAMENTO DE VIBRAÇÃO

Rogério A. X. Nunes

Gray F. Moita

Departamento de Pesquisa e Pós Graduação – DPPG

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Av. Amazonas 7675 - Belo Horizonte – MG – CEP: 30510-000

e-mail: gray@dppg.cefetmg.br

Resumo. Neste trabalho o Método dos Elementos Finitos é empregado para análise e validação de modelos constitutivos matemáticos para materiais hiperelásticos (borracha), utilizados no isolamento de vibrações mecânicas, permitindo a comparação dos resultados numéricos com os resultados experimentais já existentes.

Os modelos constitutivos são previamente calibrados através de dados de ensaios experimentais e de constantes obtidas na literatura, com o objetivo de identificar os parâmetros e os modelos de borracha mais apropriados para a simulação da borracha natural empregada na fabricação dos isoladores.

O artigo procura enfatizar as dificuldades enfrentadas na aplicação da simulação numérica dos componentes estruturais em estudo, desde a coleta de dados experimentais retirados de ensaios de tração, compressão e cisalhamento, até a determinação das características e propriedades da borracha. Considerações a respeito das constantes matemáticas para as diversas durezas da borracha são tratadas neste artigo.

O trabalho utiliza o programa LUSAS para análise de peças de borracha fabricadas pela empresa Vibtech Consultoria e Comércio Ltda, visando contribuir para a difusão da simulação numérica para o projeto de isoladores. Pretende-se assim, incentivar a utilização de ferramentas computacionais em substituição a prática de protótipos, baseada, essencialmente, em formulações empíricas e na aplicação de experiência prévia.

Palavras-chave: Método dos Elementos finitos, isoladores de vibração, borracha.

1. INTRODUÇÃO

A vibração mecânica se constitui em um movimento contínuo de um corpo em relação à posição de equilíbrio, enquanto choque é um movimento transitório do corpo. O isolamento vibratório, por sua vez, é feito através de isoladores. Um isolador é caracterizado por uma rigidez e um amortecimento. A rigidez é responsável pela capacidade do corpo se deformar sob uma carga, e de voltar à posição inicial quando essa carga é retirada, enquanto o amortecimento pode ser definido como a capacidade de frear um movimento, transformando energia mecânica em calor.

O controle de vibração pode ser feito de várias maneiras. Uma das formas constitui na diminuição do esforço dinâmico gerado por uma máquina através do balanceamento. Há muitos casos onde estes esforços não podem ser controlados e a maneira mais comum para diminuir a vibração transmitida é fazendo a isolação vibratória do equipamento. Estudos sobre isoladores de choque e modelos de absorvedores de vibração estão sendo realizados por vários pesquisadores

como Chandra *et al* (1998, 1999), Dickens (2000), Babitsky (1998), Gardonio e Elliott (2000), Steffen *et al* (2000) e outros.

O ideal é que uma máquina trabalhe equilibrada e alinhada. Um bom assentamento varia de acordo com o tipo de máquina e com o local de instalação, e para que ele ocorra é necessário que possa receber os esforços sem ser danificado, permita os movimentos ou deformações que seu funcionamento proporciona e evite interferência entre máquinas. Destaca-se algumas propriedades da borracha (MARC, 1992): pode sofrer grandes deformações; é quase incompressível; apresenta elasticidade como principal propriedade para o amortecimento; é flexível, moldável e resiliente; apresenta longa vida útil; não é tóxica; exibe comportamento não linear.

As molas de borracha podem ser manufaturadas em borracha natural, borracha sintética, e plásticos. O grau de dureza destes materiais está entre 30 e 98 IHRD (International Rubber Hardness) medida equivalente a dureza Shore. A borracha natural possui as melhores propriedades elásticas (Gobel, 1974).

A elasticidade, tratando-se de um fator importante para o amortecimento e, conseqüentemente, para a isolamento de vibrações, deve ser estudada mais detalhadamente. Ela é a capacidade do material se deformar sob a aplicação de uma carga e, quando esta é retirada, voltar ao formato original. A relação carga/deflexão é usada para caracterizar a elasticidade nos isoladores de borracha. Podemos verificar esta relação entre carga e deflexão na Fig. 1.

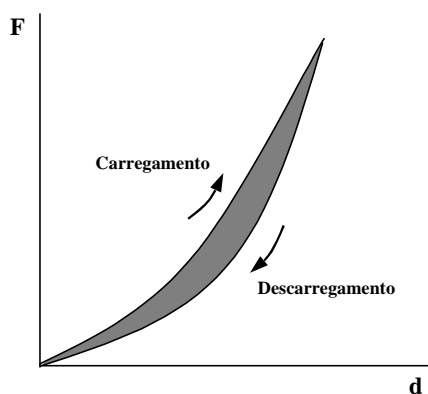


Figura 1 – Curva do comportamento da mola de borracha

A área entre a curva de carregamento e a curva de liberação corresponde à energia perdida entre a absorção e a energia liberada. Esta energia perdida chama-se histerese. A histerese corresponde ao amortecimento. Este é caracterizado como a diferença entre o trabalho de deformação e a recuperação elástica.

O mais importante parâmetro para análise de tensão das molas de borracha é o módulo de cisalhamento. Este independe da forma da borracha, mas depende do seu tipo de material. A borracha também sofre influência do calor e do frio. Os efeitos da temperatura são importantes na análise dos elastômeros, podendo afetar o comportamento da borracha, a viscoelasticidade e a histerese (Gobel, 1974).

Este trabalho tem o objetivo de estudar o comportamento dos isoladores de vibração de borracha através de métodos numéricos computacionais. Os computadores têm sido utilizados na engenharia como ferramentas indispensáveis para a solução de problemas, processando informações numéricas e não numéricas. O comportamento de um problema de engenharia pode ser representado por um sistema de equações diferenciais, podendo ser considerado como um modelo matemático. Em um modelo contínuo teremos um número infinito de incógnitas, sendo difícil encontrarmos uma solução exata para um problema definido. Trocando o modelo contínuo por um discreto ou numérico, encontraremos uma solução aproximada com um número finito de graus de liberdade,

permitindo uma solução mais simples. O Método de Elementos Finitos é o método discreto mais empregado atualmente e será utilizado no decorrer desta pesquisa.

Por sua vez, os modelos matemáticos aplicados em borracha têm sido estudados desde a primeira metade do século passado. No entanto a maior descoberta neste campo foi feita por Mooney (1940), que desenvolveu uma teoria aplicável em grandes deformações. Seus estudos foram seguidos pelos de Rivlin (1948). A abordagem destes autores para a função energia deformação baseia-se nas variantes de deformação e no conceito do material ser isotrópico e incompressível. Ainda assim esta abordagem não é totalmente satisfatória para análises de grandes deformações. Assim, Ogden (1972, 1984) propôs uma nova função de energia deformação. Esta é uma combinação linear das formas potenciais dos alongamentos principais e tem sido amplamente utilizada em análises de materiais hiperelásticos. Todas estas proposições levavam em conta que materiais de borracha eram totalmente incompressíveis. No entanto sabemos que estes materiais possuem uma leve compressibilidade que não pode ser ignorada daí as funções de energia deformação terem sido modificadas tornando viável o seu uso em materiais quase-incompressíveis. A abordagem de Ogden e os modelos de Mooney-Rivlin são largamente aplicados em trabalhos envolvendo o método de elementos finitos (Moita, 1994).

Neste trabalho utilizam-se os modelos matemáticos de borracha aplicados em conjunto com o Método de Elementos Finitos, analisando, desta forma, a efetividade dos isoladores de borracha em problemas de vibrações mecânicas.

2. MODELOS MATEMÁTICOS PARA BORRACHA

Uma das principais preocupações quando se estuda numericamente a borracha diz respeito à correta representação matemática do seu comportamento mecânico. A energia de deformação pode ser empregada como base para essa representação. Neste caso, duas possibilidades que podem ser consideradas para representar a função de energia de deformação: a) utilizando os invariantes do tensor de deformações e b) utilizando os alongamentos principais (Moita, 1994 e 1998). Entre as funções de energia de deformação desenvolvidas para o primeiro grupo, a proposta por Mooney (1940), e posteriormente modificada por Rivlin (1948), é uma das mais conhecidas e foi a empregada neste trabalho. A teoria resultante é baseada nas hipóteses que a borracha é incompressível e isotrópica no estado indeformado e que a lei de Hooke é obedecida no cisalhamento simples. Desta forma, a função de energia de deformação de Mooney-Rivlin é a seguinte:

$$\mathbf{j} = C_1(I_1 - 3) + C_2(I_2 - 3) \quad (1)$$

onde C_1 e C_2 são as constantes de Mooney-Rivlin que devem ser determinadas experimentalmente e I_1 e I_2 são os invariantes de deformações usualmente empregados, ou seja, $I_1 = I_1^2 + I_2^2 + I_3^2$ e $I_2 = I_1^2 I_2^2 + I_1^2 I_3^2 + I_2^2 I_3^2$ (I_i são os alongamentos principais). Note que esta expressão somente é válida para incompressibilidade total, para a qual $J = I_1 I_2 I_3 = 1$. Assim, ela somente representa a parte desviadora da energia de deformação, uma vez que o volume não é modificado.

Entretanto, borracha nem sempre se comporta como incompressível, em virtude de impurezas presentes na mesma, e algum grau de compressibilidade deve ser aceito. Conseqüentemente, um termo envolvendo o módulo de elasticidade volumétrica k deve ser incorporado à Eq. (1) acima. A parte volumétrica de \mathbf{j} pode ser escrita como:

$$\mathbf{j}_b = \frac{1}{2} k (J - 1)^2 \quad \text{or} \quad \mathbf{j}_b = \frac{1}{2} k (\ln J)^2 \quad (2)$$

E o estado de incompressibilidade pode ser recuperado se o valor de k tender a infinito. Para a configuração inicial, \mathbf{j}_b é zero.

A equação abaixo mostra a função de energia de deformação de Mooney-Rivlin, levando em conta a separação entre a parte desviadora e volumétrica.

$$\mathbf{j} = C_1(\bar{I}_1 - 3) + C_2(\bar{I}_2 - 3) + \frac{1}{2}k(J - 1)^2 \quad (3)$$

onde $\bar{I}_1 = I_1 I_3^{-1/3}$ e $\bar{I}_2 = I_2 I_3^{-2/3}$ são os invariantes modificados que permitem a separação mencionada acima (Moita, 1994).

3. DESENVOLVIMENTO

A utilização de uma ferramenta computacional de elementos finitos, o programa comercial LUSAS (2001), para análise das peças de elastômeros, utilizadas com a função de isoladores de vibração, fabricadas pela empresa Vibtech Consultoria e Comércio Ltda é proposta neste trabalho.. Aplicou-se apenas o modelo matemático de Mooney-Rivlin, procurando, assim, facilitar a identificação dos parâmetros a serem empregados na simulação numérica, considerando ainda que, apenas o efeito de carga estática será levado em consideração neste artigo.

O trabalho iniciou-se com o estudo de um corpo de prova, fornecido pela empresa, de geometria simples, objetivando obter, através da curva carga x deslocamento, a calibração dos diversos modelos de borracha a serem empregados na análise das peças. Estes modelos, por sua vez, foram previamente calibrados através de dados experimentais, com o intuito de obter parâmetros para os diversos modelos de borracha de tal forma que possa identificar o mais apropriado para a simulação da borracha natural empregada na fabricação dos isoladores. Após análise do corpo de prova, outros isoladores também foram estudados e simulados.

3.1 O Corpo de Prova

O ponto de partida para a calibração do modelo foi a escolha de um corpo de prova adequado. A peça foi escolhida por sua geometria simples, permitindo o estudo do comportamento do material, minimizando assim a interferência do seu formato geométrico na simulação. Desta forma foi empregado um amortecedor/isolador de vibração à base de elastômero, com placas e parafusos em aço zincado, aderido às partes metálicas durante a vulcanização, projetada para trabalho fundamentalmente em compressão e cisalhamento. Este amortecedor é aplicado em situações onde existam forças dinâmicas maiores numa direção. Sua dureza está na faixa de 70 Shore A.

A empresa Vibtech, fabricante deste corpo de prova, forneceu dados experimentais obtidos através de ensaios de tração, compressão e cisalhamento, em quatro amostras. Os ensaios foram realizados controlando o deslocamento dos corpos de prova, iniciando com os mesmos na condição indeformada, e aplicando-se uma deflexão máxima de 20mm. Os valores experimentais da carga aplicada em função do deslocamento foram obtidos para ensaio completo de carregamento e de descarregamento. Através dos resultados obtidos nos testes, foram levantadas as curvas carga x deslocamento.

3.2 Calibração

A calibração do modelo numérico foi feita através da aplicação dos modelos matemáticos de borracha já existentes e de alguns conjuntos de parâmetros ou constantes experimentais fornecidos pela literatura. Procura-se com isto identificar qual é o conjunto de parâmetros mais adequado para cada condição de carregamento. Isto se fez através da calibração das diversas curvas carga x deslocamento obtidas com cada conjunto, em comparação com os valores experimentais.

Resumindo-se, a idéia é, a partir dos vários dados disponíveis, identificar o mais apropriado para a simulação da borracha natural empregada pela Vibtech. Desta forma, os resultados obtidos com a calibração do corpo de prova servirão de base para futuras simulações de amortecedores de vibração.

3.3 Dificuldades

A maior dificuldade para a correta calibração está na identificação dos coeficientes de Mooney-Rivlin para as diversas durezas da borracha e do módulo de elasticidade volumétrica. Uma das possibilidades é encontrar parâmetros de modelos matemáticos para borracha na literatura. Percebeu-se que, ainda assim, estes são de difícil obtenção. Sendo assim, a inexistência de mais coeficientes dificultaram as simulações numéricas.

Outro problema enfrentado no início deveu-se ao fato de que a borracha utilizada no corpo de prova não foi satisfatoriamente caracterizada, conhecendo-se apenas a dureza na faixa de 70 Shore A, não possuindo qualquer outro dado das propriedades deste material. Além disso, a coleta dos dados experimentais, relativos aos ensaios de compressão, tração e cisalhamento, fornecida pela empresa, gerou dúvidas e apresentou erros sobre o processo de medição e a boa aferição dos equipamentos utilizados nas análises. As partes metálicas por sua vez, apresentam propriedades do aço conhecidas, com coeficiente de Poisson $\nu = 0,3$ e módulo de elasticidade $E = 210\text{MPa}$.

Outro ponto a ser comentado diz respeito ao modelo empregado. Segundo a literatura (Moita, 1994) o modelo de Mooney-Rivlin trabalha bem em uma faixa de deformação de até 30%. Conseqüentemente, deformações muito altas tendem a apresentar piores resultados para o modelo.

Com base nos valores das constantes de Mooney-Rivlin disponíveis na lista de discussão Xansys (Waltz, 2000) e de dados da literatura (Finney e Kumar, 1988), o corpo de prova foi analisado numericamente para diversas durezas e diferentes valores do módulo de elasticidade volumétrica, objetivando-se encontrar resultados para elaboração das curvas carga x deslocamento e posterior comparação com dados experimentais. Utilizou-se somente Mooney-Rivlin por não encontrar parâmetros dos outros modelos matemáticos para borracha.

Os ensaios numéricos levaram em consideração, ainda, que a borracha natural (real) não é totalmente incompressível, ou seja, deve-se permitir um certo grau de compressibilidade, representado aqui pelo módulo de elasticidade volumétrica k . Os valores empregados foram baseados na literatura pesquisada e servem apenas de referência nesta fase do estudo. É importante também ressaltar que um aumento excessivo no valor de k causa problemas numéricos de mal-condicionamento da matriz de rigidez, impedindo a conclusão da análise (Moita, 1994).

3.4 Resultados Numéricos

As análises empregaram a formulação co-rotacional para incluir a não-linearidade geométrica. A solução equilibrada foi obtida usando-se o procedimento padrão de Newton-Raphson Total, para o qual foram utilizadas as seguintes tolerâncias dos resíduos: norma da força residual = 0,1; norma do deslocamento = 1,0. A deflexão total para as várias análises foi de 20mm. O número total de incrementos ficou dentro de um patamar aceitável, sendo de no máximo 30 para o caso de compressão e de no máximo 20 para os demais casos.

No teste em compressão, utilizando o controle de deslocamento, o resultado que mais se aproximou da curva real, foi com modelo representando uma borracha de dureza 62 Shore. (Fig. 2). Portanto, para o corpo de prova em estudo, a calibração resultou nas seguintes constantes para o modelo de Mooney-Rivlin: $C_1 = 0,516 \text{ N/mm}^2$ e $C_2 = 0,129 \text{ N/mm}^2$, com $K = 1000 \text{ MPa}$.

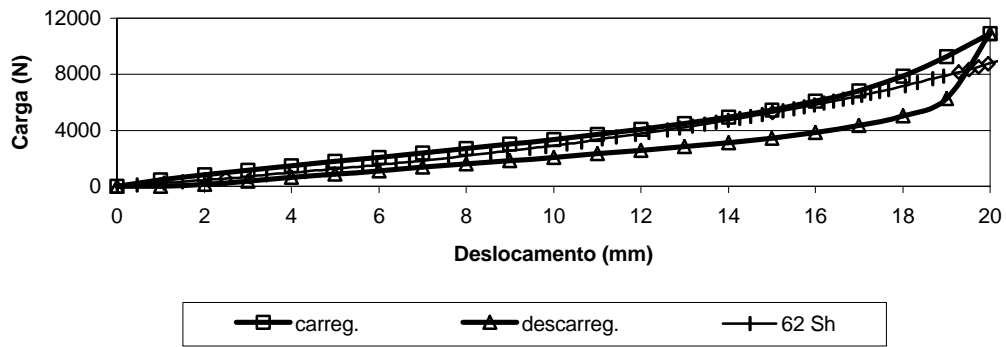


Figura 2 – Compressão do corpo de prova

Para o corpo de prova em tração, o resultado para o conjunto de parâmetros da borracha de dureza 60 Shore foi o que mais se aproximou da curva real (Fig. 3). Desta forma, a calibração determinou a utilização das seguintes constantes para o modelo de Mooney-Rivlin: $C_1 = 0,474 \text{ N/mm}^2$ e $C_2 = 0,118 \text{ N/mm}^2$, com $K = 1000 \text{ MPa}$.

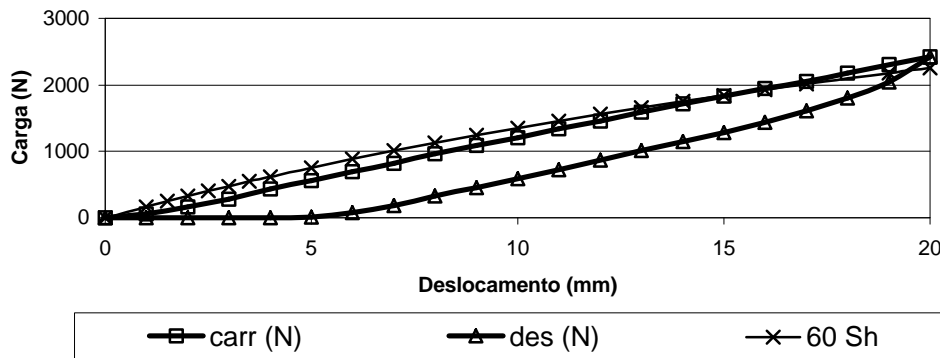


Figura 3 – Tração do corpo de prova

Para o corpo de prova em cisalhamento, o resultado que mais se aproximou da curva experimental foi com modelo representando uma borracha de dureza 69 Shore (Fig. 4). Os coeficientes para o modelo de Mooney-Rivlin que mais se aproximaram da curva de carregamento experimental na calibração foram $C_1 = 0,702 \text{ N/mm}^2$ e $C_2 = 0,175 \text{ N/mm}^2$, com $K = 1000 \text{ MPa}$.

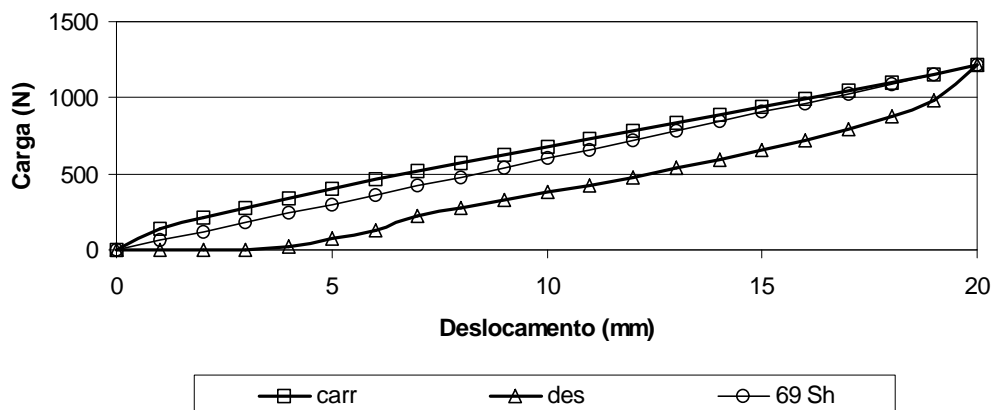


Figura 4 – Cisalhamento do corpo de prova

O corpo de prova apresentou os seguintes resultados: para a compressão obteve-se um deslocamento radial de 9,29 mm, o que é bastante próximo do obtido experimentalmente, de 9,2 mm; nos testes de tração o corpo apresentou uma diminuição do diâmetro do corpo de prova, com um deslocamento radial de 5,0 mm aproximando do deslocamento real que foi de 4,2 mm. A Fig. (5) apresenta o comportamento do corpo de prova para a simulação de compressão e tração. A análise de cisalhamento, embora não mostrada neste artigo, também apresentou resultados satisfatórios (Nunes, 2001).

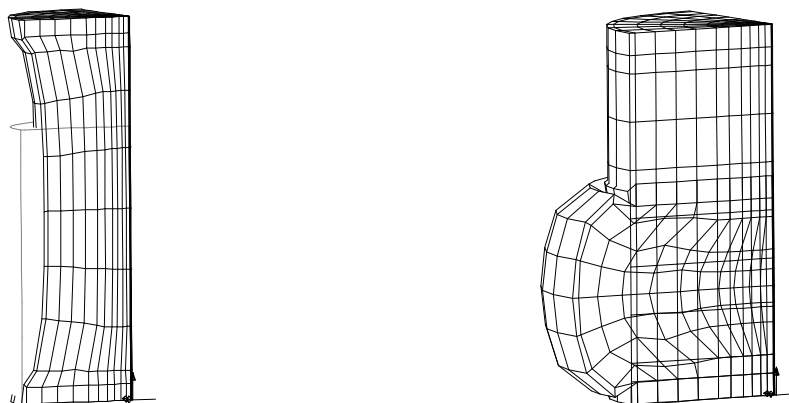


Figura 5 – Simulação do corpo de prova em tração e compressão

4. PLACA PVE

Após a calibração realizada no corpo de prova, os resultados obtidos foram utilizados para análise e simulação de uma outra peça de borracha utilizada também com a função de um amortecedor/isolador de vibração.

Este amortecedor, comumente denominado placa PVE- 2000, também fornecido pela Vibtech, é constituído de borracha natural aderido às placas de aço, aplicado na isolação vibratória de prensas industriais. Além de possuir placas de aço horizontais na região superior e inferior, há também chapas verticais que auxiliam no aumento da capacidade de carga do isolador. Suas dimensões são de 300 x 250x 100 mm (comprimento, largura e altura). A borracha natural empregada na sua confecção, de acordo com a empresa, é igual a do corpo de prova, portanto equivalente a 70 Shore A. Esta peça trabalha fundamentalmente em compressão, daí a análise experimental simulou este comportamento.

O objetivo desta etapa consiste em testar os coeficientes de Mooney-Rivlin, encontrados na calibração do corpo de prova, verificando qual destes coeficientes melhor se adequa a borracha natural empregada na confecção desta nova peça.

4.1 Resultados Numéricos

A Fig. 6 representa as curvas das simulações da placa PVE com os parâmetros das constantes de Mooney-Rivlin para 60 Sh, 62 Sh e 63 Sh. A constante de 63 Sh foi incluída na simulação com o objetivo de comparar a curva de 62 Sh, na tentativa de verificar se esta constante se aproximava mais da curva real.

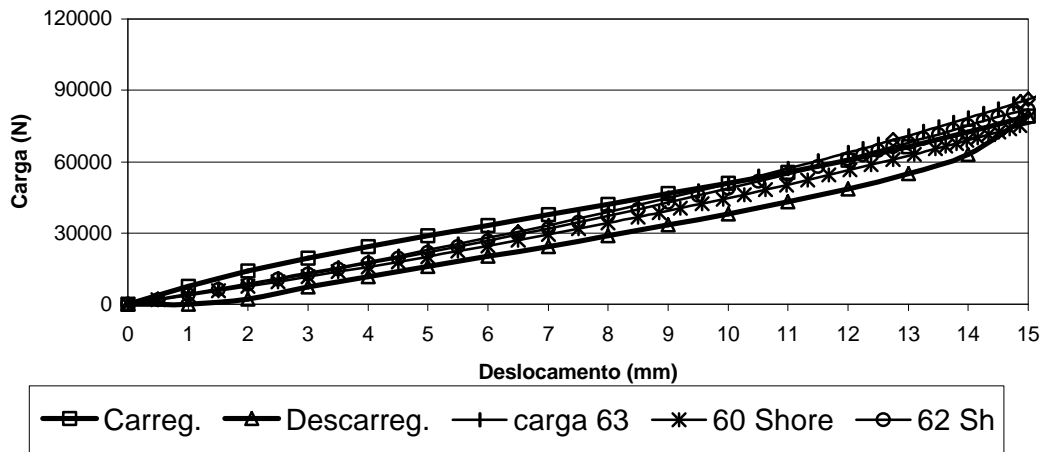


Figura 6 – Resultado dos testes na placa

A que mais se aproximou do resultado experimental foi a curva representando as constantes de 62 Sh. (Figura 7) Sendo assim, obtivemos a mesma constante aplicada na calibração do corpo de prova em compressão, confirmando a calibração obtida para o material neste estado de solitação.

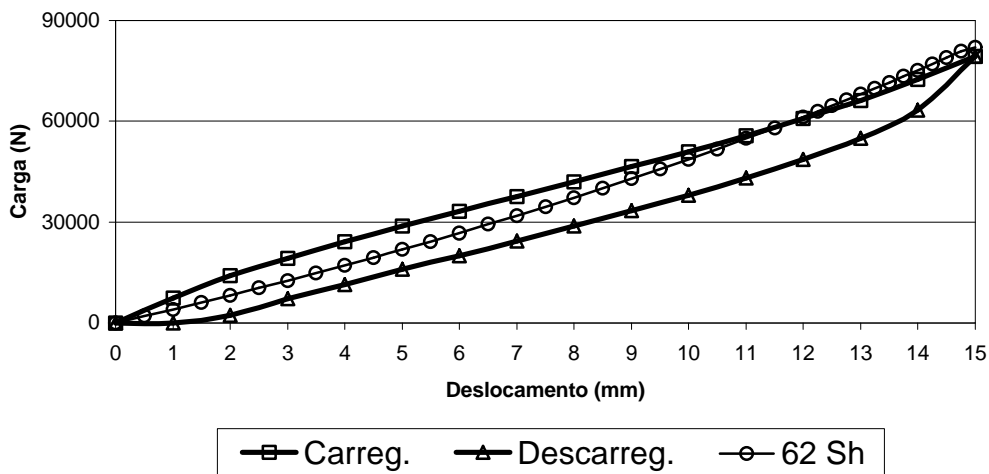


Figura 7 – Curva carga x deslocamento placa

A Fig. 8 mostra a configuração deformada da placa PVE. Observa-se como o corpo se comporta em uma deformação de 15% , notando que não ocorre deformação na placa superior do aço, sendo este se deslocando de maneira uniforme.

Deve-se ressaltar, ainda , que a simulação obteve êxito também no que diz respeito à correta escolha da geometria, possibilitando modificações tanto nas partes de borracha, quanto nas chapas verticais de aço. O modelo numérico permite modificações geométricas visando uma maximização da carga de trabalho da peça.

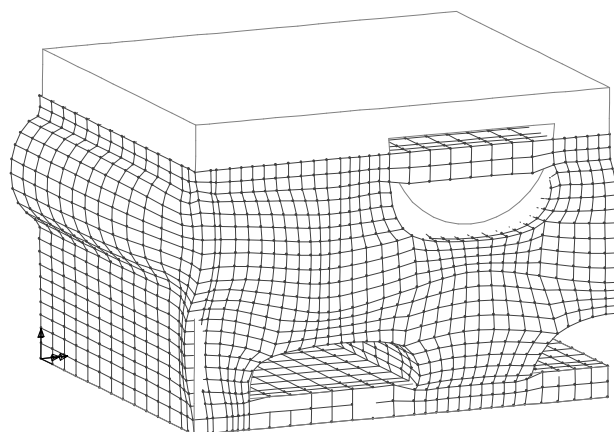


Figura 8 – Placa PVE

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho investigou o comportamento de isoladores de vibração de borracha através de análises experimentais e numéricas. Procurou-se, desta forma, utilizar o método dos elementos finitos, juntamente com alguns modelos matemáticos para borracha, e de calibragem a partir resultados experimentais, para a obtenção de parâmetros na simulação da borracha natural empregada na fabricação dos isoladores de vibração, mostrando a importância da utilização de ferramentas computacionais para o projeto de isoladores. É importante mencionar que o modelo de Mooney-Rivlin foi o único empregado até então como forma de facilitar a validação numérica. Outros modelos matemáticos para borracha poderão ser considerados em etapas futuras deste trabalho.

Os resultados obtidos para os diversos conjuntos de constantes foram analisados e aproximações bastante razoáveis da curva de carregamento experimental do corpo de prova foram alcançadas. O comportamento da Placa PVE, trabalhando em compressão, apresentou a mesma constante encontrada na calibração do corpo de prova sob o esforço de compressão. Este resultado confirma que a calibração feita pode ser considerada satisfatória. Além disso, foram alcançados bons resultados também no aspecto qualitativos, demonstrados através das configurações deformadas das peças.

6. REFERÊNCIAS

- Babitsky, A.M.V., 1998, “Universal Bumpered Vibration Isolator For Severe Environment”, *Journal of Sound and Vibration*, vol. 218, n. 2, pp. 269-292
- Chandra S., Hatwal H. e Mallik A. K., 1999, “Performance of Non-linear Isolators and Absorbers to Shock Excitations”, *Journal of Sound and Vibration*, vol. 227, n. 2, pp. 293-307.
- Chandra S., Hatwal H. e Mallik A.K., 1998, “Response of Non-linear Dissipative Shock Isolators”, *Journal of Sound and Vibration*, vol. 214, n. 4, pp. 589-603.
- Dickens J.D., 2000, “Dynamic Model of Vibration Isolator Under Static Load”, *Journal of Sound and Vibration*, vol. 236, n. 2, pp. 323-337.
- Dickens, J.D., 2000, “Phase Velocity of Rubber Element in Vibration Isolator under Static Load”, *Journal of Sound and Vibration*, vol. 234, n. 1, pp. 21-42.
- Finney, R.H. e Kumar, A., 1988, “Development of Material Constants for Nonlinear Finite-Element” Analysis, *Rubber Chem. Technology*, vol. 61, n. 5, pp. 879-891.

- Gardonio P. e Elliott S.J., 2000, "Passive and Active Isolation of Structural Vibration Transmission Between Two Plates Connected by a Set of Mounts", *Journal Sound and Vibration*, vol. 237, n. 3, pp. 483-511.
- Gobel, E.F., 1974, "Rubber Springs Design", Butterworth & Co Ltd, London.
- LUSAS Modeller User Manual, 2001, Version 13.3, FEA, UK.
- MARC, 1992, *Nonlinear Finite Element Analysis of Elastomers*, Marc Analysis Research Corporation.
- Moita, G.F., 1994, "Non-Linear Finite Element Analysis of Continua with Emphasis on Hyperelasticity", Tese de Doutorado, Department of Aeronautics, Imperial College of Science, Technology and Medicine, London.
- Moita, G.F., 1998, "Analysis of Hyperelastic Materials using a Finite Element Formulation", *Anais do V Congresso de Engenharia Mecânica Norte e Nordeste*. Fortaleza. vol. 4, pp. 260-267.
- Mooney, M., 1940, "A Theory of Large Elastic Deformations", *Journal of Applied Mechanics*, vol. 11, pp. 582-592.
- Nunes, R.A.X e Moita, G.F., 2001 "Análise Numérica e Experimental do Uso de Elastômero na Isolação de Vibração", *Anais do XXII CILAMCE*, Campinas, SP.
- Ogden, R.W., 1972, "Large Deformation Isotropic Elastic – On the Correlation of Theory and Experiment for Incompressible Rubberlike Solids", *Proc. R. Soc. Lond.*, vol. A (326), pp. 565-584.
- Ogden, R.W., 1984, "Non-linear Elastic Deformations", Ellis Horwood, Chichester.
- Rivlin, R.S., 1948, "Large Deformations of Isotropic Materials IV. Further Developments of the General Theory", *Phil. Trans. Roy. Soc.*, vol. A241, pp. 379-397.
- Steffen, V., Domingos, A. R. e Daniel, J. I., 2000, "Using Passive Techniques for Vibration Damping in Mechanical Systems", *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences*, vol 22, n. 3, pp. 411-421.
- Waltz, M., 2000, Xansys, the Archive. Disponível em: <<http://www.infotech.tu-chemnitz.de/~messtech/ansys/ansys.html>>. Acesso em abril de 2001.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho

SOME CONSIDERATIONS ON THE APPLICATION OF THE FINITE ELEMENT METHOD FOR RUBBERLIKE MATERIALS USED IN VIBRATION ISOLATORS

Rogério A. X. Nunes

Gray F. Moita

Departamento de Pesquisa e Pós Graduação – DPPG

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Av. Amazonas 7675 - Belo Horizonte – MG – CEP: 30510-000

e-mail: gray@dppg.cefetmg.br

***Abstract.** This study presents an analysis of the behaviour of hyperelastic materials, used as vibration isolators. Numerical simulations with different rubber models are applied in conjunction with the finite element method. These models are previously calibrated using data from experimental test in order to obtain the parameters for each distinct model, in such a way that a suitable set can be found for the natural rubber used in the manufacturing of the isolators.*

This paper emphasises some of the difficulties for numerical analysis of the structural components studied here, especially regarding the accuracy of the data from the experimental test in compression, tension and shear. Considerations about the rubber constants are also included in the paper.

The finite element package LUSAS is used for the analysis of the vibration isolators produced by Vibtech Consulting and Business Ltd. The main objective of the simulation is to compare numerical results with those experimentally obtained for existing isolators. Therefore, the principal contribution of this paper is the use of computational tools in the design of rubber isolators to supersede the common practice applied in the prototype manufacturing, which is based, essentially, in empirical formulation and previous experience.

Keywords: *Vibration Isolators, Finite Element Simulation, Rubberlike Materials.*