

ABSORVEDORES DE VIBRAÇÕES UTILIZANDO LIGAS COM MEMÓRIA DE FORMA – RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Ricardo Alexandre Amar de Aguiar, raaguiar@cefet-rj.br¹
Pedro Manuel Calas Lopes Pacheco, calas@cefet-rj.br¹
Marcelo Amorim Savi, savi@mecanica.ufrj.br²

¹CEFET/RJ – PPEMM – Av. Maracanã, 229 – Bloco E – 5o. andar - 20271-110 - Rio de Janeiro - RJ - Brasil,

²COPPE/UFRJ – Departamento de Engenharia Mecânica – 21941-972 – Rio de Janeiro - Caixa Postal 68.503 – RJ, Brasil

Resumo: *A redução de vibrações é um problema importante em diferentes aplicações de engenharia. As ligas com memória de forma (SMAs) estão sendo usadas para atenuar vibrações em vários sistemas mecânicos. Em linhas gerais, busca-se explorar a sua capacidade de dissipação de energia associada ao laço de histerese e a sua habilidade de alterar as propriedades mecânicas devido a variação de temperatura, o que modifica o comportamento dinâmico do sistema. Este trabalho apresenta um estudo experimental do comportamento dinâmico de um absorvedor dinâmico de vibrações usando SMAs. Para a realização do estudo foi projetado e construído um aparato experimental composto de carros de baixo atrito montados em um trilho linear e presos por molas helicoidais lineares e de SMA. O sistema é excitado por um shaker que produz uma excitação harmônica. Vários sensores são utilizados para a aquisição de dados e diversos carregamentos termomecânicos são considerados. Os resultados mostram a capacidade do absorvedor com SMA de reduzir as vibrações do sistema primário. Além disso, os resultados mostram a potencialidade do uso das SMAs para o desenvolvimento de absorvedores dinâmicos de vibrações no controle de estruturas e equipamentos, sendo mais flexíveis que os absorvedores clássicos.*

Palavras-chave: *Absorvedores de vibração, ligas com memória de forma, resultados experimentais.*

1. INTRODUÇÃO

As propriedades das ligas com memória de forma (“Shape Memory Alloys” - SMAs) estão atraindo grande interesse tecnológico e motivando várias aplicações nos mais diversos campos da ciência e da engenharia. As áreas aeroespacial, biomédica e robótica são algumas onde as SMAs podem ser usadas (Lagoudas, 2008; Paiva & Savi, 2006; Wang et al., 2004; Machado & Savi, 2002, 2003; Garner et al., 2001; Denoyer et al., 2000; Webb et al., 2000; Van Humbeeck, 1999; Pacheco & Savi, 2000; Birman, 1997, Rogers, 1995).

As SMAs têm sido utilizadas como elementos em atenuadores de vibração devido as suas singulares características termomecânicas (Williams et al., 2001, 2002, 2005, Rustighi et al., 2003, 2005, Elahinia et al., 2005; Nae et al., 2004, Tiseo et al., 2010). A capacidade de dissipação de energia é uma das propriedades importantes que está diretamente associada ao laço de histerese observado durante as transformações de fase. Existem vários estudos sendo realizados para investigar o comportamento dinâmico de sistemas que apresentem elementos de SMA, como pode ser observado em referências como: Savi et al. (2008); Machado et al. (2009); Savi et al. (2002); Machado et al. (2003); Sitnikova et al. (2008a,b); e Santos & Savi (2009).

O uso de SMAs em absorvedores de vibração tem como objetivo construir um dispositivo passivo-adaptativo onde as características dinâmicas do absorvedor podem ser ajustadas variando-se a temperatura e/ou a tensão no elemento, de modo a induzir transformações de fase que vão modificar características de rigidez e de dissipação da liga, possibilitando ao absorvedor trabalhar em faixa de frequências mais ampla e se adaptar a mudanças na frequência do carregamento.

Neste trabalho apresenta-se um estudo experimental do comportamento dinâmico de um absorvedor dinâmico de vibrações (ADV) utilizando ligas com memória de forma. Para a realização do estudo foi projetado e construído um aparato experimental composto de carros de baixo atrito montados em um trilho linear e presos por molas helicoidais lineares e de SMA. Os carros são excitados por um shaker que produz uma excitação harmônica ao sistema. Foram realizados testes para diversos carregamentos termomecânicos aplicados na mola de SMA.

2. APARATO EXPERIMENTAL

O estudo do absorvedor dinâmico de vibrações usando SMA envolve o projeto e a construção do aparato mostrado na Figura 1. O equipamento é composto de três carros de baixo atrito, molas helicoidais de tração, um trilho linear, um shaker, sensores e sistema de aquisição de dados.

A configuração do absorvedor estudado utiliza duas molas helicoidais de tração fabricadas de aço, com diâmetro externo de 7,3 mm e diâmetro do fio da mola de 0,85 mm e uma mola de SMA. A mola de SMA é uma mola helicoidal de tração fabricada com um fio cilíndrico de uma liga de NiTi com temperatura de transformação de fase de 45-55°C. Essa mola apresenta diâmetro externo de 6,0 mm, diâmetro de fio de 0,75 mm e 20 espiras ativas. A Tabela 1 indica a rigidez das molas utilizadas nos experimentos, e as características termomecânicas da mola de SMA são apresentadas em Aguiar et al. (2009a,b, 2010).

Tabela 1 - Rigidez das molas utilizadas.

Mola	Tipo	k [N/mm]
1(aço)	Linear	0,573
2(aço)	Linear	0,528
SMA	Não Linear	Não-linear

A montagem dos carros no trilho é mostrada na Figura 1 e apresenta a seguinte configuração: o carro 1 é acoplado rigidamente em um shaker (LabWorks ET-126) que é ligado ao carro 2 através de uma mola linear (mola 1). O carro 2 representa o sistema primário e é ligado a uma segunda mola linear (mola 2) que tem a sua extremidade acoplada ao carro 3 que corresponde ao absorvedor de vibrações. O carro 3 é ligado a uma terceira mola não linear (mola de SMA) que tem a sua extremidade acoplada a uma célula de carga (Alfa SV-20) fixada ao trilho para avaliar a carga axial no sistema.

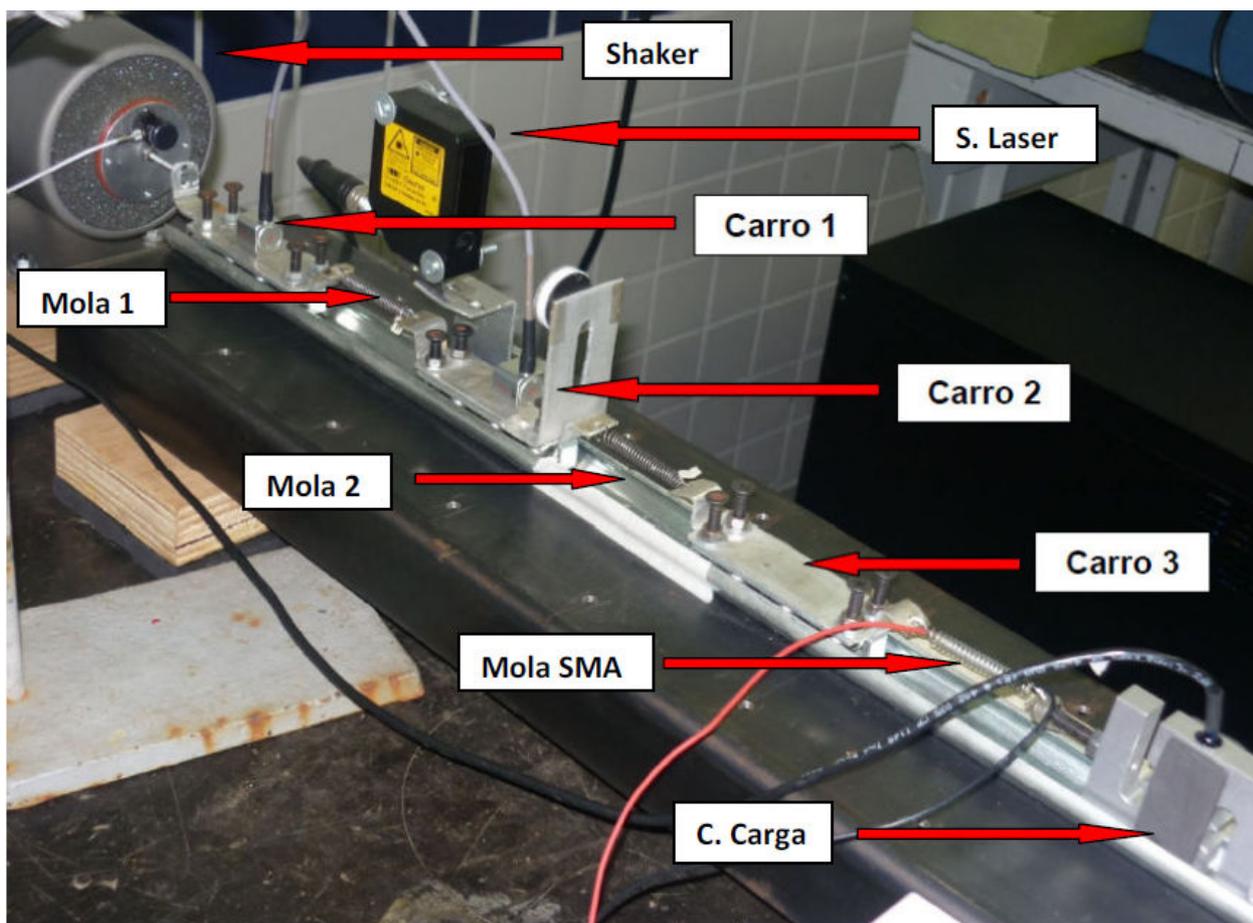


Figura 1 – Foto do absorvedor dinâmico de vibrações com uma mola de SMA

O shaker é controlado por um sistema de controle de vibrações (LabWorks VibeLab VL-145s “Digital Sine Controller”) que permite a aplicação de diversos perfis de carregamento. Em essência consideram-se carregamentos

harmônicos de deslocamento prescrito ou de aceleração prescrita com avanço (“sweep”) na frequência. Para monitorar os carros foram utilizados acelerômetros extensométricos fixados em cada um dos carros (Kyowa AS-10GB). Além disso, o carro 2 também é monitorado por um sensor laser de deslocamento (Baumer OADM 20I4460/S14C). Todos os sensores (acelerômetros, laser e célula de carga) são conectados a um sistema de aquisição de dados (HBM Spider 8) e, em todos os experimentos, utiliza-se uma taxa de aquisição de 400 Hz e um filtro passa baixa de 20 Hz para reduzir os ruídos observados nos dados coletados. A temperatura das molas é monitorada através de infravermelho usando a câmera FLIR A-320. A Tabela 2 apresenta as especificações técnicas do sensor laser de deslocamento e dos acelerômetros.

Tabela 2 - Especificações técnicas do sensor laser e do acelerômetro

	Sensor Laser	Acelerômetro
resolução	< 0.06 mm	-
Erro de linearidade	± 0.2 mm	± 1.0% RO
Tempo de resposta	< 10 ms	-
Max. taxa de aquisição	1000 Hz	350 Hz
Histerese	-	± 1.0% RO

A mola helicoidal de NiTi do absorvedor foi submetida a variações de temperatura induzidas por efeito joule através da aplicação de uma corrente elétrica utilizando uma fonte de corrente (Minipa MPL-1303). Quatro níveis diferentes de corrente são aplicados à mola: 0,8 A; 1,0 A; 1,2 A e 1,4 A.

Nos testes experimentais do absorvedor, o carro1 é excitado harmonicamente com uma aceleração com amplitude constante de 0,25 g (1,472 m/s²), variando-se a frequência de 6,0 Hz a 18,0 Hz com uma taxa constante de 0,02 Hz/s. O sistema de controle de vibração (Lab Works VibeLab VL 145s) é utilizado para controlar a excitação imposta ao carro 1. Todos os testes experimentais apresentados neste trabalho são iniciados a partir da frequência mais alta (18 Hz), uma vez que o sistema de controle do shaker apresenta um melhor desempenho para frequências mais elevadas.

Para analisar a capacidade do absorvedor de anular as grandes amplitudes observadas na faixa da frequência de ressonância do sistema primário, a análise do absorvedor é precedida por uma análise da dinâmica do sistema primário que consiste de um oscilador linear com um grau de liberdade. Esta etapa consiste em retirar o carro 3 e a mola de SMA do aparato. Os testes foram para uma faixa de frequência de 6,0 Hz a 18,0 Hz, mesma usada no absorvedor. Considera-se um ciclo completo composto de um percurso de ida (reduzindo a frequência de 18,0 Hz a 6,0 Hz) e o percurso de volta (aumentando a frequência de 6,0 Hz a 18,0 Hz).

3. ABSORVEDOR DINÂMICO DE VIBRAÇÕES UTILIZANDO SMA

O comportamento dinâmico do absorvedor de vibrações adaptativo utilizando uma mola helicoidal de tração de SMA é testado para diferentes valores de temperatura promovidos através da aplicação de uma corrente elétrica na mola de SMA. A variação na temperatura da mola de SMA pode induzir a transformação de fase na liga de NiTi e, como consequência, alterações na rigidez. Além disso, a variação da temperatura pode provocar uma alteração das tensões críticas de transformação de fase, movendo a posição do laço de histerese. Desta forma, a variação da temperatura pode acarretar que, para um determinado nível de deslocamento, passe a ocorrer uma transformação de fase induzidas por tensões, acarretando o efeito pseudoelástico. Todos estes efeitos contribuem para promover mudanças no comportamento dinâmico do absorvedor. Para avaliar o efeito do aumento da temperatura da mola no comportamento dinâmico do sistema, consideram-se testes para os seguintes valores de corrente: 0,8 A; 1,0 A; 1,2 A e 1,4 A.

No início de cada um dos testes promove-se o seguinte procedimento experimental: primeiramente a mola SMA é aquecida por 60 s, submetendo-a a uma corrente de 1,2 A. Este procedimento tem como objetivo garantir que a única fase microestrutural presente no material da mola seja austenita (A). Posteriormente a mola é resfriada para promover a transformação de fase de austenita para martensita maclada (M). Todo procedimento de aquecimento e resfriamento é realizado com a mola livre de carregamento mecânico. Em seguida, a mola é aquecida pela corrente elétrica usada no teste por 60 segundos. Para cada valor de corrente realiza-se um ciclo completo de variação de frequência (18,0 Hz a 6,0 Hz e 6,0 Hz a 18,0 Hz).

Inicialmente, analisa-se a dinâmica do sistema primário. A Figura 2 mostra a aceleração e a Figura 3 o deslocamento e a amplitude do deslocamento para o carro 2 no domínio do tempo para um ciclo completo de variação de frequência. Os quatro picos encontrados estão associados às frequências naturais do absorvedor. Note que a medida que se aumenta o valor da corrente ocorre um aumento da rigidez da mola de SMA e, conseqüentemente, um aumento na amplitude de aceleração na primeira frequência natural e uma redução na amplitude da aceleração para a segunda.

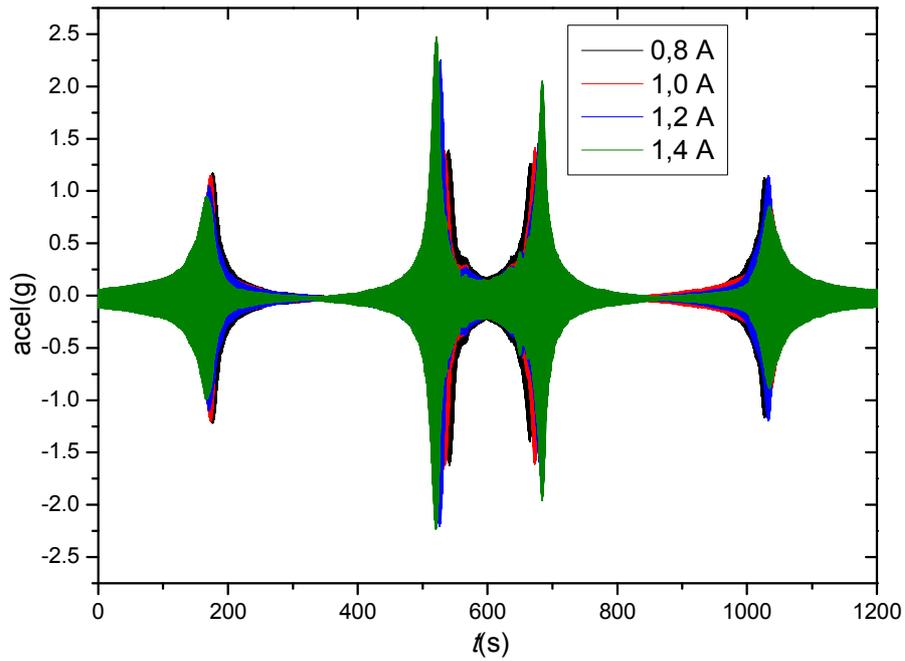


Figura 2 – Aceleração no domínio do tempo do carro 2 para o absorvedor usando uma mola de SMA para as correntes de 0,8 A ,1,0 A 1,2 A e 1,4 A.

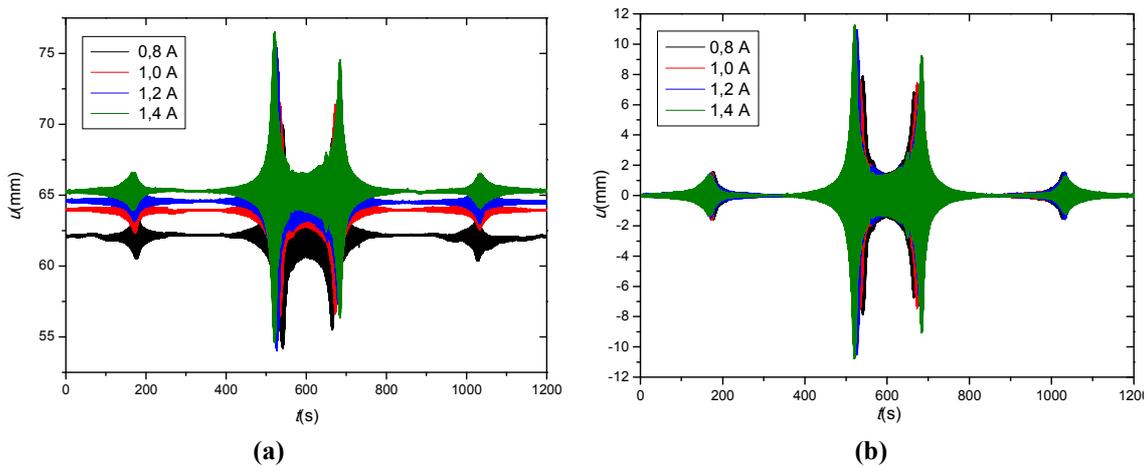


Figura 3 – Deslocamento (a) e amplitude do deslocamento (b) no domínio do tempo do carro 2 para o absorvedor usando uma mola de SMA para as correntes de 0,8 A;1,0 A;1,2 A e 1,4 A.

A partir de agora passa-se a investigar a dinâmica do sistema quando se inclui o absorvedor de vibrações. Essencialmente estabelece-se uma comparação entre os testes com e sem a presença do absorvedor. Inicialmente, duas correntes são consideradas: 0,8A e 1,4A. A Figura 4 mostra a distribuição de temperatura na mola de SMA obtidas por infravermelho usando a câmera FLIR A-320, para essas duas correntes. O processo de troca de calor da mola de SMA com o ambiente através da convecção é afetado pela velocidade da mola. Para a corrente mais baixa (0,8 A) ocorre um resfriamento da mola na faixa de frequências próximas à ressonância do sistema, pois nessas regiões, a mola apresenta uma velocidade mais elevada perdendo, portanto, mais calor por convecção (Figura 8a). Pode-se notar também uma maior deformação da mola de SMA na parte da mola em contato com o carro 3, efeito também causado por estar esta parte da mola sujeita a uma maior convecção, conforme pode ser observado na Figura 8a.

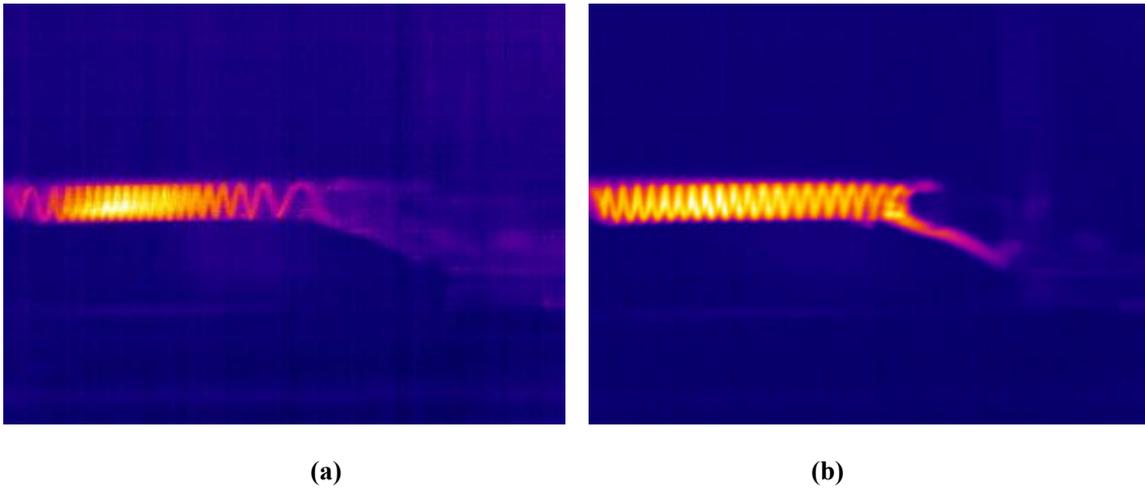


Figura 4 - Distribuição da temperatura na mola de SMA (a) 0,8 A e (b) 1,4 A usando a câmera FLIR A-320.

A Figura 5 apresenta os resultados com uma corrente de 0,8 A aplicado na mola de SMA. Nessa condição, a amplitude para primeira frequência de ressonância é de 3,0 g e de 2,3 g para a segunda. A aceleração no domínio do tempo e a amplitude da aceleração no domínio da frequência do carro 2 está apresentado na Figura 5. Observa-se uma redução da amplitude da aceleração para a faixa de frequência entre 9 Hz e 14 Hz. Para a frequência de 12,5 Hz (frequência de ressonância do oscilador primário) o uso do absorvedor promove uma redução da amplitude da aceleração de 5,3 g para 0,11 g.

Aumentando a corrente para 1,4 A, a amplitude da aceleração para a primeira frequência de ressonância é de 4,7 g e, para a segunda, é de 1,9 g. A Figura 6 apresenta a aceleração no domínio do tempo e a amplitude da aceleração no domínio da frequência do carro 2 para o oscilador linear e para o sistema com absorvedor nessas condições. Agora existe uma redução da amplitude da aceleração para a faixa de frequência entre 9 Hz e 14 Hz. Para a frequência de 12,5 Hz (frequência de ressonância do oscilador), ocorre uma grande redução da amplitude da aceleração do oscilador. Portanto, com o aumento da corrente ocorre um aumento do primeiro pico e uma redução do segundo.

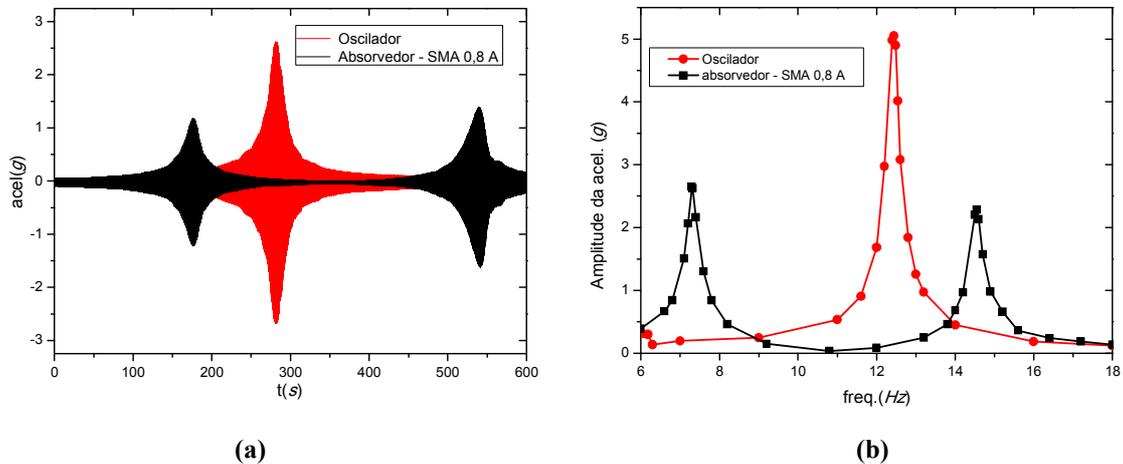


Figura 5 – Aceleração no domínio do tempo (a) e amplitude de aceleração no domínio da frequência (b) do carro 2 para absorvedor com uma corrente de 0,8 A aplicada na mola de SMA e para oscilador linear

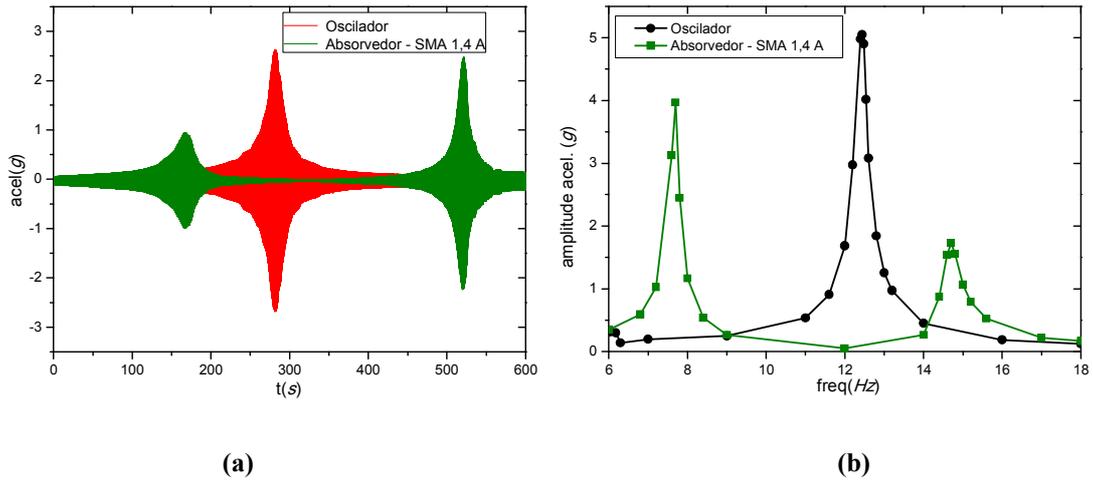


Figura 6 – Aceleração no domínio do tempo (a) e amplitude de aceleração no domínio da freqüência (b) do carro 2 para absorvedor com uma corrente de 1,4 A aplicada na mola de SMA e para oscilador linear

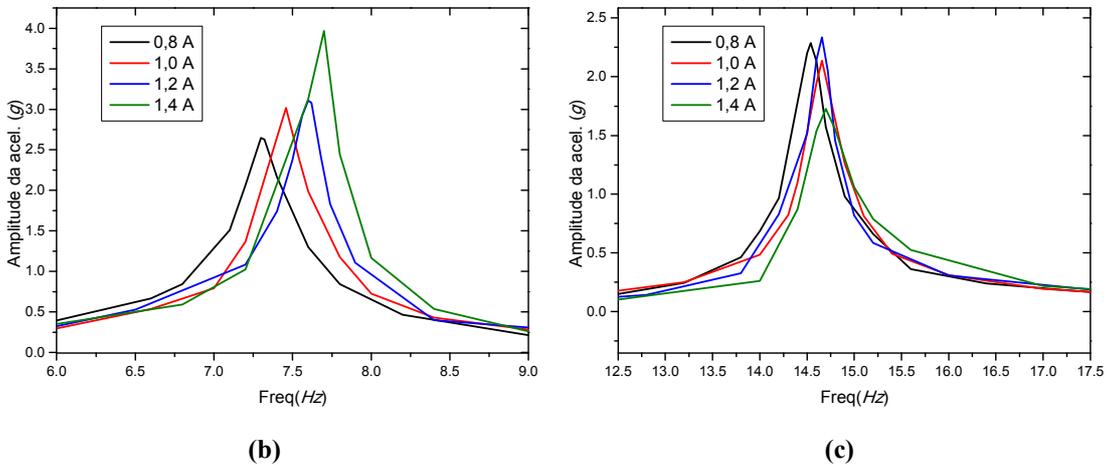
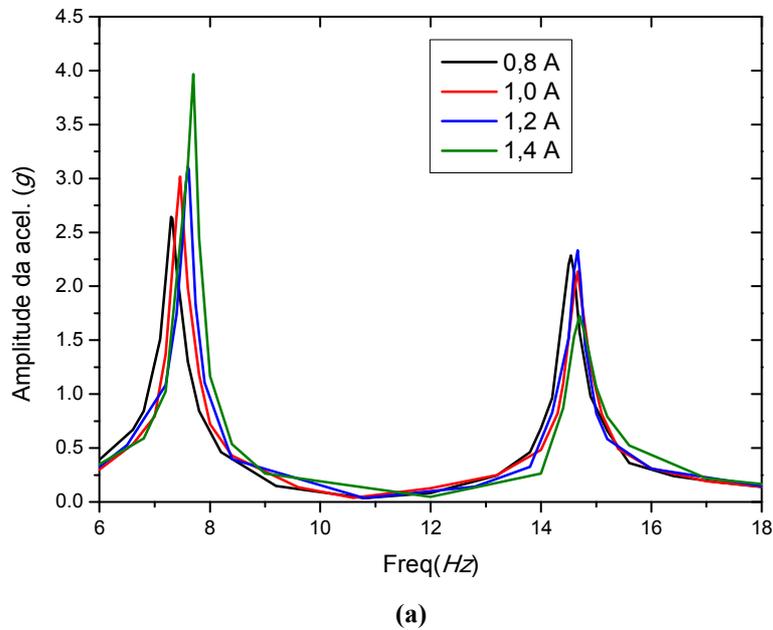


Figura 7 – (a) Amplitude da aceleração do carro 2 para valores de corrente: 0,8 A; 1,0 A; 1,2 A; e 1,4 A aplicados na mola de SMA, (b) detalhe da primeira freqüência ressonância e (c) detalhe da segunda freqüência.

Um estudo comparativo para a amplitude da aceleração do carro 2 para os valores de corrente (0,8 A, 1,0 A, 1,2 A e 1,4 A) aplicados na mola de SMA é mostrado na Figura 7a. Os detalhes para a primeira e para a segunda frequência de ressonância do absorvedor são indicados nas Figuras 7b e 7c. Pode-se observar que, com o aumento da corrente na mola de SMA, ocorre um aumento no valor da primeira frequência de ressonância do absorvedor, que passa de 7,2 Hz, para uma corrente de 0,8 A, para uma frequência de 7,6 Hz, para uma corrente de 1,4 A

A Tabela 2 apresenta uma comparação dos resultados do carro 2 entre a primeira frequência de ressonância e a amplitude da aceleração para esta frequência para cada corrente aplicada na mola de SMA.

Tabela 2 – Estudo comparativo para as correntes aplicadas na mola de SMA

Corrente	Primeira frequência de ressonância (Hz)	Amplitude da aceleração (g)
SMA (0,8 A)	7,20	3,0
SMA (1,0 A)	7,36	3,1
SMA (1,2 A)	7,48	4,4
SMA (1,4 A)	7,6	4,7

4. CONCLUSÃO

Os dados obtidos usando o aparato experimental projetado e construído para os testes envolvendo ADV comprovaram a eficiência na redução da amplitude dos deslocamentos e das acelerações na região de ressonância do sistema primário com o uso de absorvedores dinâmicos de vibração. Também foi possível avaliar a possibilidade de se alterar e controlar o comportamento dinâmico do sistema primário com o acoplamento a este sistema de um ADV usando um elemento de SMA (mola helicoidal de tração). Foram avaliados o comportamento do absorvedor de SMA para vários valores de corrente e os resultados encontrados mostram a potencialidade para o desenvolvimento e aplicação de ADV usando SMA para controle de vibração e ruídos em estruturas e equipamentos nos mais diversos campos da engenharia.

5. REFERÊNCIAS

- Aguiar, R. A. A., Savi, M. A. & Pacheco, P. M. C.L., 2010, “Experimental and numerical investigations of shape memory alloy helical springs”, *Smart Material and Structures*, v.19, n.2, Article 025008, pp.1-9.
- Aguiar, R. A. A., Pereira, J. H. I., Souza, C. G., Pacheco, P. M. C. L. & Savi, M. A., 2009, “Shape memory alloy helical springs: modeling, simulation and experimental analysis”, *Solid Mechanics in Brasil 2009*, Rio de Janeiro, v. 1, pp. 169-181.
- Aguiar, R. A. A., Pacheco, P. M. & Savi, M. A., 2008, “Experimental investigation of a shape memory alloy helical spring single degree of freedom oscillator”, *International Congress of Mechanical Engineering – COBEM 2009*, Gramado –RS
- Birman, V., 1997, “Review of mechanics of shape memory alloys structures”, *Applied Mechanics Review*, v.50, n.11, pp.629-645.
- Birman, V., 2008, “Shape memory elastic foundation and supports for passive vibration control of composite plates”, *International Journal of Solids and Structures*, v 45, pp. 320–335
- Denoyer, K.K., Scott Erwin, R., Rory Ninneman, R., 2000, “Advanced smart structures flight experiments for precision spacecraft”, *Acta Astronautica*, v.47, pp.389-397.
- Machado, L.G. & Savi, M.A., 2002, “Odontological applications of shape memory alloys”, *Revista Brasileira de Odontologia*, v.59, n.5, pp.302-306.
- Machado, L.G. & Savi, M.A., 2003, “Medical applications of shape memory alloys”, *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, v.36, n.6, pp.683-691.
- Machado, L.G., Lagoudas, D. C. & Savi, M.A., 2009, “Lyapunov exponents estimation for hysteretic systems”, *International Journal of Solids and Structures*, v 46, pp. 1269–1286
- Pacheco, P.M.C.L. & Savi, M.A., 2000, “Modeling a shape memory release device for aerospace applications”, *Revista de Engenharia e Ciências Aplicadas*, UNESP.
- Paiva, A. & Savi, M. A., 2006, “An overview of constitutive models for shape memory alloys”, *Mathematical Problems in Engineering*, v.2006, Article ID56876, pp.1-30.
- Nae, F.A., Ikeda T. & Matsuzaki Y., 2004, “The active tuning of a shape memory alloy pseudoelastic property”, *Smart Materials and Structures*, v. 13, pp. 503-511.
- Rogers, C.A., 1995, “Intelligent materials”, *Scientific American*, September, pp.122-127.

- Rustighi, E., Brennan, M.J. & Mace, B.R., 2003, "Design of an adaptive vibration absorbers using shape memory alloy", University of Southampton – Institute of Sound and Vibration, SVR – Technical Memorandum N° 920 ,
- Rustighi, E., Brennan, M.J. & Mace, B.R., 2005, "A shape memory alloy adaptive tuned vibration absorber: design and implementation", *Smart Materials and Structures*, v. 14, pp. 19-28
- Rustighi, E., Brennan, M.J. & Mace, B.R., 2005, "Real-time control of a shape memory alloy adaptive tuned vibration absorber", *Smart Materials and Structures*, v. 14, pp. 1184-1195.
- Santos, B.C. & Savi, M.A., 2009, "Nonlinear dynamics of a nonsmooth shape memory alloy oscillator", *Chaos, Solitons and Fractals*, v.40, n.1, pp.197-209.
- Savi, M. A., Paiva, A., Baêta-Neves, A. P. & Pacheco, P. M. C. L., 2002, "Phenomenological modeling and numerical simulation of shape memory alloys: A thermo-plastic-phase transformation coupled model", *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, v.13, n.5, pp.261-273.
- Sitnikova, E., Pavlovskaja, E. Wiercigroch, M. & Savi, M.A., 2008, "Vibration reduction of the impact system by an SMA restraint: Numerical studies", *International Journal of Non-linear Mechanics*, doi:10.1016/j.ijnonlinmec.2009.11.013.
- Sitnikova, E., Pavlovskaja, E. & Wiercigroch, M., 2008, "Dynamics of an impact oscillator with SMA constraint", *European Physical Journal - Special Topics*, v.165, pp.229-238.
- Tiseo, B., Concilio, A., Amerudi, S. & Gianvito, A., 2010, "A shape memory alloy based tuneable dynamic vibration absorber for vibration tonal control", *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, v.48, pp. 135-153.
- Van Humbeeck, J., 1999, "Non-medical applications of shape memory alloys", *Materials Science and Engineering A*, v.273-275, pp.134-148.
- Webb, G., Wilson, L., Lagoudas, D.C. & Rediniotis, O., 2000, "Adaptive control of shape memory alloy actuators for underwater biomimetic applications", *AIAA Journal*, v.38, n.2, pp.325-334.
- Williams, K.A., Chiu, G.C.C. & Bernhard, R. J., 2001, "Stability analysis of a shape memory alloy adaptive tuned vibration absorber under pi control with anti-windup", *Proceedings of 2001 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, New York, NY*.
- Williams, K.A., Chiu, G.C.C. & Bernhard, R. J., 2001, "Vibration absorbers using shape-memory material ", *United States Patent, Patent N° US006290037B1*
- Williams, K.A., Chiu, G.C.C. & Bernhard, R. J., 2002, "Adaptive-passive absorbers using shape-memory alloys ", *Journal of Sound and vibration* , v. 249, pp. 835-848.
- Williams, K.A., Chiu, G.C.C. & Bernhard, R. J., 2005, "Nonlinear control of a shape memory alloy adaptive tuned vibration absorber", *Journal of Sound and vibration*, v. 288, pp. 1131-1155.

6. DIREITOS AUTORAIS

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



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

VIBRATION ABSORBERS USING SHAPE MEMORY ALLOY – EXPERIMENTAL RESULTS

Ricardo Alexandre Amar de Aguiar, raaguiar@cefet-rj.br¹
Pedro Manuel Calas Lopes Pacheco, calas@cefet-rj.br¹
Marcelo Amorim Savi, savi@mecanica.ufrj.br²

¹CEFET/RJ – PPEMM – Av. Maracanã, 229 – Bloco E – 5o. andar - 20271-110 - Rio de Janeiro - RJ - Brasil,
²COPPE/UFRJ – Departamento de Engenharia Mecânica – 21941-972 – Rio de Janeiro - Caixa Postal 68.503 – RJ, Brasil

***Abstract.** Vibration reduction is an important problem related to different engineering applications. Shape memory alloys (SMAs) are being used to vibration reduction in numerous mechanical systems. In general, it is explored either their high dissipation capacity associated with hysteresis loop or their ability to change mechanical properties due to temperature variations, changing the dynamical response of the system. This work presents an experimental study of the dynamical behavior of vibration dynamical absorber using SMAs. It is design and constructed an experimental apparatus with this aim. Basically, the apparatus has low dissipation cars over a rail and connected by elastic and SMA springs. The system is excited by a shaker that produces harmonic excitation. Several sensors are employed for data acquisition and different thermomechanical loadings are considered. Results show the capability of the SMA absorber to promote vibration reduction of the primary system. Besides, results show the potential use of SMA to develop dynamical absorbers for vibration control in structures and equipments being more flexible than the classical absorber.*

***Keywords:** Vibration absorber, shape memory alloy, experimental.*