

Plataforma de testes para análise do comportamento de um fio de liga com memória de forma (LMF)

Platform tests for analyzing the behavior of a shape memory alloy (SMA)

Leandro Maciel Rodrigues¹, Jaidilson Jó da Silva¹ e José Sergio da Rocha Neto¹

¹ Departamento de Engenharia Elétrica – DEE, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, 58429-900, Campina Grande – PB, Brasil

E-mail: leandro.rodrigues@ee.ufcg.edu.br,
{jaidilson, zesergio}@dee.ufcg.edu.br

Resumo: O presente trabalho apresenta uma plataforma de testes de deformação e vibração, em que utiliza-se um fio de liga com memória de forma (LMF) como atuador. Os dados coletados a partir de processos de aquecimento e resfriamento do fio por efeito Joule foram utilizados para mostrar a característica de histerese desse tipo de liga e para modelar o sistema histerese por modelos de primeira ordem.

Palavras-chave: Plataforma de testes, Liga com memória de Forma, Histerese, Modelos.

Abstract: This paper presents a deformation and vibration platform test, in which it is used an shape memory alloy (SMA) wire as actuator. The data collected from the process heating and cooling of the wire by Joule effect have been used to show the hysteresis characteristic of this alloy type and for modeling complex system hysteresis by first order models.

Keywords: Platform Tests, Shape Memory Alloy, Hysteresis, Models.

1. INTRODUÇÃO

O processo de análise de deformações sofridas por um elemento que está sujeito a tensões mecânicas é de grande importância em diversas aplicações industriais, espaciais, assim como para a pesquisa [1].

O extensômetro convencional em folha metálica, o qual mede deformações de estruturas, é um tipo especial de sensor de deslocamento de contato. Seu pequeno tamanho, massa desprezível, de superfície plana, a capacidade de conformidade e

de se fixar rigidamente com a superfície de estruturas, torna o extensômetro em folha metálica um sensor muito interessante para aplicações em monitoramento da saúde de estruturas [2].

As propriedades das Ligas com Memória de Forma (LMF) estão atraindo grande interesse tecnológico e motivando várias aplicações nos mais diversos campos da ciência e da engenharia [3].

Quando usado como atuador termomecânico, no qual o calor é gerado devido ao efeito Joule provocado por uma certa intensidade de corrente, a LMF se torna uma alternativa atrativa por sua grande deformação e boa recuperação em sistemas onde se necessita de muita força, grande deformação e baixa frequência [4-5].

Neste trabalho é utilizada uma plataforma com viga simplesmente engastada e são realizadas as medições, com o intuito de se obter uma relação da deformação da viga e do sinal de entrada (uma amostra da tensão que é aplicada à LMF).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Estrutura física da plataforma

A estrutura física da Plataforma de Testes está representada na figura 1 é composta, basicamente, por três partes:

- Base: Uma base retangular plana, feita de ferro;
- Coluna de suporte: Uma coluna erguida sobre a base, composta por 4 parafusos, dispostos de maneira espaçada formando um retângulo; duas placas de fixação retangulares e uma terceira placa posicionada verticalmente, para a fixação da LMF (detalhe A da figura 1);
- Viga: Uma viga de aço com 55 cm de comprimento, 2,6 cm de largura e 2 mm de espessura. Uma das extremidades da viga é engastada à coluna de suporte através de duas placas de fixação, e a outra extremidade fica livre, mas conectada ao atuador de LMF através de uma pequena peça metálica (detalhe B da figura 1).

Colados às faces superior e inferior da viga, estão os extensômetros de resistência elétrica, que são utilizados para obter dados sobre a deformação da viga. O fio de LMF servirá como

atuador nessa configuração, podendo tracionar a viga ou liberá-la. Nas extremidades do fio de LMF, são conectados terminais elétricos, através dos quais será fornecido o sinal elétrico de atuação.

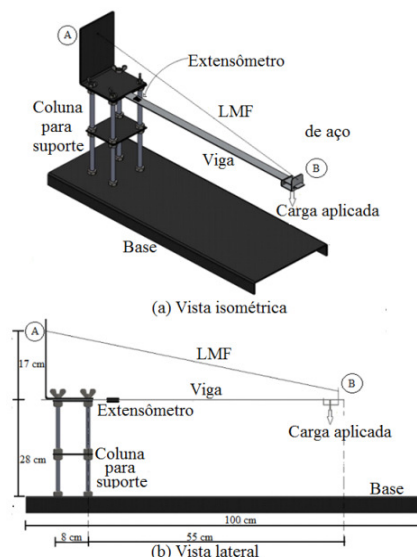


Figura 1: Representação da Plataforma experimental em vistas isométrica (a) e lateral (b).

2.2. Ponte de Wheatstone

O circuito da ponte de Wheatstone (figura 2), é utilizado para medir variações relativas que ocorrem em suas impedâncias. Os extensômetros são colados nas faces do corpo de prova que sofrem deformações opostas, de maneira que, enquanto um se contrai, o outro se estende na mesma proporção. Desta forma, as resistências sofrerão as mesmas alterações, de modo que se obtém uma maior precisão.

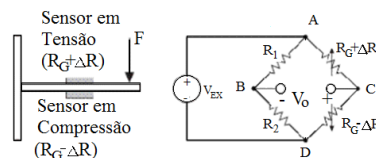


Figura 2: Representação da Ponte de Wheatstone.

2.3. Condicionamento do sinal

O circuito que identifica a deformação da viga e a converte em sinais elétricos é constituído, pela Ponte de Wheatstone (figura 2), na qual a saída (V_o) está conectada às entradas do amplificador

de instrumentação, INA101, cuja função principal é elevar o sinal de saída da ponte a valores que possam ser medidos através da placa de aquisição de dados. A última etapa do circuito é um Filtro Passa Baixas Passivo, este filtro possui frequência de corte igual a 33 Hz, aproximadamente, para diminuir os ruídos de baixa frequência, como aqueles provenientes da rede elétrica, 60 Hz.

2.4. Sistema de aquisição de dados

A aquisição dos dados é realizada com o auxílio de três dispositivos da National Instruments: o bloco de terminais NI BNC 2110, o cabo de transmissão de dados NI SH6868 - EP e a placa NI PCI 6036e, representados na figura 3. Estes dispositivos realizam a interligação entre a Plataforma de Testes e o Computador.

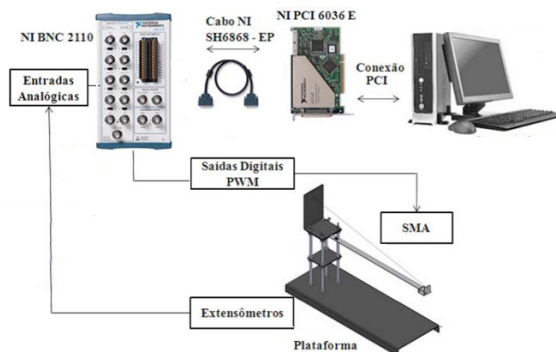


Figura 3: Esquema para aquisição de dados e atuação sobre a LMF.

2.4 Metodologia

São coletados os dados da tensão aplicada à liga, e da tensão obtida pelo extensômetro ao se deformar a viga devido à contração e distensão da liga. Devido ao efeito Joule a liga se aquece cada vez mais quanto maior for a corrente aplicada à ela. Com os dados coletados, é possível obter o gráfico mostrando o comportamento de histerese da LMF (figura 4). Devido à esse comportamento de histerese, modelar o sistema com apenas um modelo de primeira ou segunda ordem não é dividiu-se a curva em 4 partes e utilizou-se a ferramenta de identificação de sistemas (*System Identification* 8º Congresso Brasileiro de Metrologia, Bento Gonçalves/RS, 2015

Toolbox ou *ident*) fornecida pelo MATLAB, para obter-se 4 funções de transferência de primeira ordem para modelar o sistema. Essa ferramenta é utilizada para se gerar modelos de sistemas a partir de dados medidos de entrada e de saída. Após a criação dos modelos o *ident* fornece o *Best Fits*, que é uma relação percentual do quão próximo a saída do modelo, utilizando os dados de entrada, é da saída medida.

3. RESULTADOS

Na figura 4 tem-se o comportamento de histerese próprio das LMFs, onde a curva pontilhada representa o resfriamento e a linha contínua o aquecimento da liga

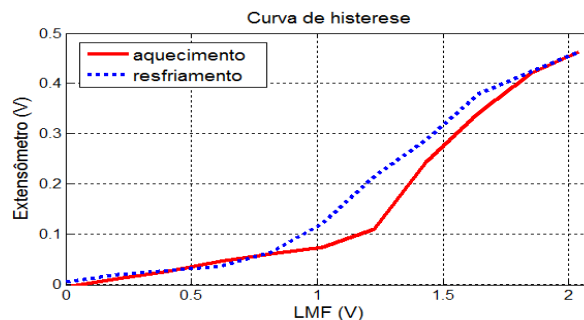


Figura 4: Comportamento de histerese do sistema.

E os modelos gerados pelo *ident* para o aquecimento ((1) e (2)) e resfriamento ((3) e (4)) são

$$G_{A1}(s) = \frac{0.0752}{(0.186s + 1)} e^{-0.3s} \quad (1)$$

$$G_{A2}(s) = \frac{0.254}{(62.424s + 1)} \quad (2)$$

$$G_{R1}(s) = \frac{0.229}{(2.279s + 1)} \quad (3)$$

$$G_{R2}(s) = \frac{0.334}{(568.33s + 1)} e^{-0.3s} \quad (4)$$

De acordo com o *ident* a saída do modelo (1) tem uma compatibilidade de 79.8%, a do modelo (2) de 86.77%, a do modelo (3) tem uma compatibilidade de 80.18% e a do modelo (4) de 80.2% com a saída medida. Na figura 5 tem-se os gráficos dos modelos e do sistema real.

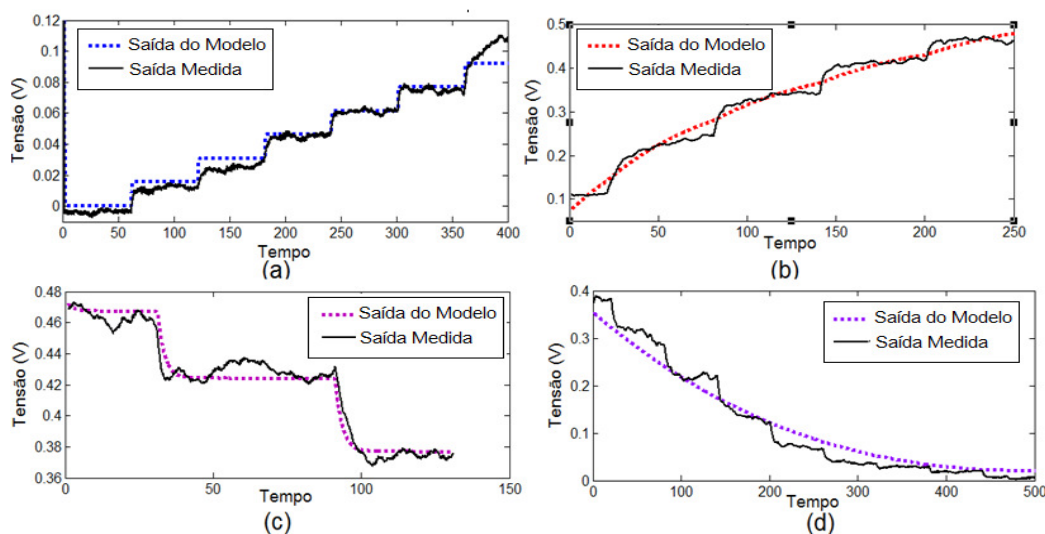


Figura 5: Comparação entre a saída dos modelos e a saídas medidas, em (a) e (b) modelos de aquecimento e em (c) e (d) modelos de resfriamento.

4. CONCLUSÃO

Na plataforma desenvolvida, a escolha do extensômetro como sensor foi de grande importância devido à sua capacidade de ler pequenas deformações e por ser bastante leve o que fez com que não houvesse interferência do seu peso na medida, já que esse precisava estar colado à viga para medir sua deformação.

A necessidade de se estudar as características das LMFs, é o seu uso crescente na tentativa de resolver problemas de deformação e vibração de estruturas. Nesse sentido, modelos matemáticos mais precisos e simples são necessários para que se possa monitorar e controlar as estruturas através das LMFs de forma mais eficiente.

Comparando-se os modelos (1), (2), (3) e (4), nota-se que seus parâmetros, ganho em regime permanente, constantes de tempo e o atraso de transporte são bastante diferentes. Portanto, descrever o sistema com apenas um modelo resultaria em um modelo bastante complexo para ser implementado e controlado.

REFERÊNCIAS

- [1] Leuckert, C. Sistema Portátil de Aquisição de Dados para Análise Dinâmica de Estruturas 8º Congresso Brasileiro de Metrologia, Bento Gonçalves/RS, 2015

Mecânicas. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica. UFRGS, Porto Alegre - RS, Brasil, Abril de 2000.

- [2] Yao, J., Hew, Y. Y., Mears, A., & Huang, H. Strain Gauge-enable Wireless Vibration Sensor Remotely Powered by Light. *IEEE Sensors journal*, vol. **15**, no. 9, september 2015.

- [3] Aguiar, R. A., Savi, M. A., & Pacheco, P. M. Experimental Analysis of Vibration Reduction in Shape Memory Alloy Systems. DINAME 2013 - Proceedings of the XV International Symposium on Dynamic Problems of Mechanics M.A. Savi (Editor), ABCM, Buzios, RJ, Brazil, February 17-22, 2013.

- [4] Lima W. M., Araujo, C. J., Valenzuela, W. A. V, Rocha Neto, J. S., 2010. Deformation Control of a Flexible Beam under Low Frequency Loading using Ni-Ti-CuSMA Wire Actuator. ABCM Symposium Series in Mechatronics, vol. **4**, pp.110-119.

- [5] Suzuki, Y., Kagawa, Y., 2010. Active Vibration Control of a Flexible Cantilever Beam Using Shape Memory Alloy Actuators. *Smart Materials and Structures*.