

CONSTRUÇÃO DE UMA BALANÇA COM UTILIZAÇÃO DE STRAIN GAGES EM PONTE DE WHEATSTONE

Erick M. Silva, Djovani Z. Girardi, Tonilson S. Rosendo

Universidade Federal do Pampa – Unipampa

erickmeed@gmail.com, djovani.girardi@gmail.com, tonilson.rosendo@unipampa.edu.br

Resumo. Este trabalho detalha a construção de uma balança para apresentação à disciplina *Análise Experimental de Tensões*, do curso de Engenharia Mecânica da UNIPAMPA. O projeto teve como objetivo a construção de um dispositivo para avaliação experimental de massa com a utilização de strain gage (SG) em PW e um condicionador de sinais. Os SG's foram dispostos no ponto de maior deformação de um elemento elástico sob flexão com uma ligação do tipo ponte inteira. Com esse modelo de transdutor foi possível medir a deformação no elemento elástico e então calcular a carga aplicada com uma exatidão bastante significativa, onde o erro relativo médio foi de 5,06%. Já em comparação com uma balança comercial o erro relativo foi de 0,08%. Tais erros se devem as hipóteses utilizadas, porém pelos baixos valores o modelo adotado se mostrou satisfatório.

Palavras-Chave: Balança, Strain Gage, Ponte de Wheatstone.

1. INTRODUÇÃO

Uma técnica bastante empregada na análise experimental de tensões é a Extensometria de Resistência Elétrica (ERE). Nesta técnica, sensores de deformação do tipo Strain Gage (SG) são utilizados em conjunto com um circuito elétrico denominado Ponte de Wheatstone (PW). A PW é um circuito elétrico usado para medir resistências elétricas. Os SG, por sua vez, são resistores elétricos de alta sensibilidade, que tem sua resistência alterada quando deformados.

Segundo a National Instruments [2] na prática as deformações elásticas dos materiais são da ordem de μm , exigindo sensibilidade como a dos SG's para medi-las. Para medir variações tão

pequenas de resistência, os SG's são usados em uma PW, podendo a ligação ser do tipo $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ ou ponte inteira, todas com a inclusão de uma fonte de tensão de excitação. Uma ligação em ponte inteira (configuração de maior sensibilidade) está mostrada na Fig. 1.

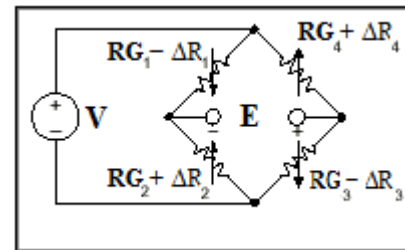


Figura 1. Ponte de Wheatstone em ligação do tipo ponte inteira.

De acordo com a Ref. [2], se algum SG sofrer uma deformação e, conseqüentemente ter sua resistência alterada, ocorrerá um desbalanço na ponte e a tensão E será diferente de zero. O desbalanço da PW é dado por:

$$E = V \left[\frac{R4 \cdot R2 - R3 \cdot R1}{(R4 + R3) \cdot (R2 + R1)} \right] \quad (1)$$

A variação da resistência elétrica do SG é proporcional à sua deformação, sendo esta proporcionalidade denominada de gauge fator e representada por K. Para o caso de ligação em ponte inteira onde as quatro resistências são SG's idênticos, temos:

$$\frac{\Delta E}{V} = \frac{K}{4} (\epsilon_4 - \epsilon_3 + \epsilon_2 - \epsilon_1) \quad (2)$$

Onde ϵ_1 , ϵ_2 , ϵ_3 e ϵ_4 , são as deformações nos SG's 1, 2, 3 e 4 respectivamente. Neste contexto, o trabalho tem o objetivo de construir uma balança pela ERE para ser utilizada em aula como forma

de entender os conceitos da análise experimental de tensões.

2. METODOLOGIA

2.1 Fabricação e instrumentação

Para fabricação foram utilizados os seguintes materiais: cantoneiras de aço, uma lamina de aço mola com 220 mm x 50 mm (Fig. 2), dois parafusos sextavados M5X25, uma chapa de vidro 5 mm e um elemento prismático para engaste da lâmina e base de aplicação da carga.

Na lâmina do aço mola houve um cuidado especial com as dimensões, já que se trata do elemento elástico da balança, ou seja, é o elemento que se deforma e deve ser livre de defeitos. Nela foram feitos furos de 7 mm concêntricos com os do elemento prismático onde a mesma foi fixada. Um esquema do elemento elástico com suas devidas dimensões (em milímetros) é mostrado na Fig. 2.

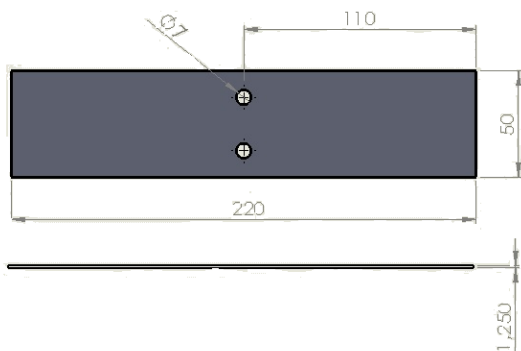


Figura 2. Elemento elástico da balança.

O elemento elástico foi preparado para a instrumentação nos pontos de maior deformação, ou seja, próximo ao “engaste”. Quatro SG’s do tipo folha foram colados na lamina sendo dois SG’s na parte superior (tração) e dois SG’s na parte inferior (compressão). Após a colagem, os SG foram conectados segundo um arranjo para ligação em ponte inteira na PW. A distância dos pontos ao engaste no eixo fixo é de 10 mm. A Fig. 3 mostra a posição dos SG’s.

Foram marcados os pontos de contato entre o prato (chapa de vidro com armação metálica) e o elemento elástico, pois é através destes pontos que é transmitida a força que causa a deformação nos

SG’s. Estas marcações foram feitas de modo a garantir a simetria na aplicação da carga.

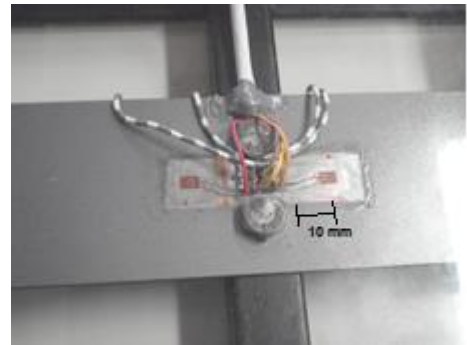


Figura 3 – Posição dos SG’s superiores no elemento elástico.

Na concepção da estrutura da balança foi utilizado o software SolidWorks. A Fig. 4 mostra uma foto da balança pronta, já com os SG colados e o cabeamento conectado.

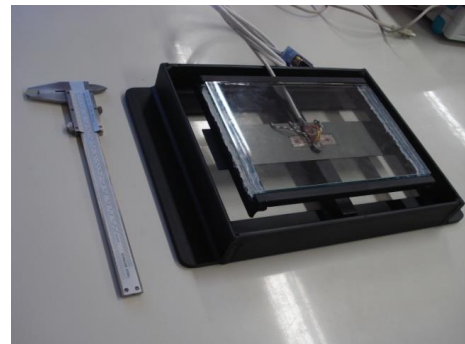


Figura 4. Balança após as fases da fabricação e instrumentação serem concluídas.

2.3 Modelo Analítico de Calibragem

Para a calibração da balança foram utilizados 26 pesos-padrão de 50 g cada e um paquímetro. Para a modelagem analítica da balança adotou-se o modelo mostrado na Fig. 5.

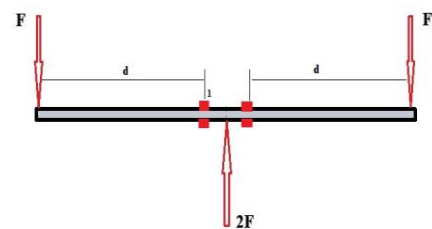


Figura 5. Modelo analítico para o elemento elástico.

Para utilização da balança faz-se necessário um condicionador de sinais. Neste trabalho foi utilizado um condicionador de sinais modelo Spider 8 da HBM, com o software Catman Easy.

Para o equacionamento foram consideradas as seguintes hipóteses:

- 1) As forças exercidas pela massa sobre o elemento elástico são de igual valor (F);
- 2) As distâncias entre as forças F e os 4 SG são idênticas;
- 3) Os SG estão igualmente afastados do centro de deflexão (onde atua 2F);
- 4) A força 2F é igual à massa do objeto multiplicado pela gravidade (9,81 m/s²).

Devido à simetria do problema, a análise do caso pode ser resumida a apenas um ponto onde um dos SG está colado. De acordo com Beer e Johnston Jr. [1] e após a análise dos momentos, chegou-se a conclusão de que o momento fletor na seção do ponto 1 (Fig. 5) é: $M_f = Fd$. A tensão normal, no SG, decorrente de M_f é dada por:

$$\sigma = \frac{M_f \cdot y}{I} \quad (3)$$

Sendo σ a tensão normal no ponto analisado, y a metade altura do elemento elástico e I o momento de inércia da seção. Substituindo a Lei de Hooke para o estado uniaxial de tensões $\sigma = E\varepsilon$ na Eq. (3) tem-se:

$$E\varepsilon = \frac{M_f \cdot y}{I} \quad (4)$$

Isolando a força F e relacionando a força peso com F, chega-se à massa (M) que se deseja (peso padrão). Obtém-se então a função de transferência:

$$M = 2 \frac{\varepsilon \cdot E \cdot I}{d \cdot y \cdot 9,81} \text{ {kg}} \quad (5)$$

Devido ao fato da configuração de ponte inteira (instrumentação com 4 SG), as deformações dos 4 pontos são somadas. A calibração foi feita com pesos-padrão de 0,1 kg, numa faixa de medição de 0,1 a 1,3 kg. Para cada incremento de carga, foi feita a leitura da deformação indicada no condicionador de sinais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores das massas dos pesos-padrão calculados analiticamente pela Eq. 6, utilizando os dados de deformação ε das medições, são mostrados na Tabela 1:

Tabela 1. Valores analíticos dos pesos-padrão calculados a partir da deformação medida.

Peso-padrão (kg)	$\mu\text{m/m}$	kg - Analítico	Erro Absoluto	Erro Relativo %
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,1000	15,6500	0,1051	0,0051	5,1127
0,2000	31,3000	0,2102	0,0102	5,1127
0,3000	46,9700	0,3155	0,0155	5,1575
0,4000	62,5700	0,4202	0,0202	5,0623
0,5000	78,2000	0,5252	0,0252	5,0456
0,6000	93,9000	0,6307	0,0307	5,1127
0,7000	109,5400	0,7357	0,0357	5,1031
0,8000	125,1400	0,8405	0,0405	5,0623
0,9000	140,8000	0,9457	0,0457	5,0754
1,0000	156,3000	1,0498	0,0498	4,9784
1,1000	172,0500	1,1556	0,0556	5,0517
1,2000	187,6000	1,2600	0,0600	5,0008
1,3000	203,2000	1,3648	0,0648	4,9836

Média %	5,0660
---------	--------

3.1 Curva de Calibração

A Tabela 2 mostra os dados de deformação medidos na calibração.

Tabela 2. Calibração com pesos-padrão.

Massa padrão [g]	Deformação [$\mu\text{m/m}$]	
	Carregamento	Descarregamento
0	0	0,17
100	15,6	15,71
200	31,3	31,37
300	46,9	47,029
400	62,57	62,629
500	78,23	78,28
600	93,83	93,94
700	109,48	109,6
800	125,14	125,25
900	140,8	140,91
1000	156,34	156,57
1100	172,05	172,2
1200	187,6	187,8
1300	203,2	0

A Fig. 6 mostra o gráfico de calibração construído a partir dos dados da Tabela 2. Juntamente tem-se uma curva de interpolação linear ($R^2=1$).

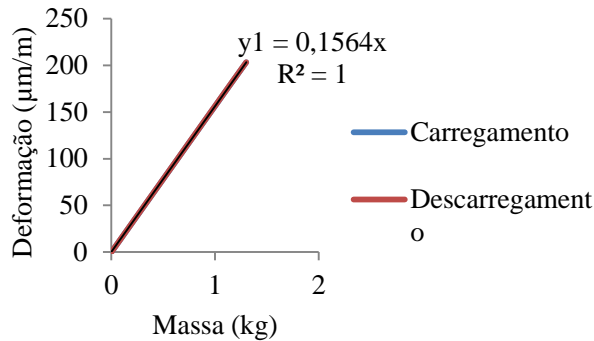


Figura 6 – Curvas de carregamento e descarregamento medidas durante a calibração da balança.

Por interpolação linear da curva de carregamento, obtém-se:

$$y_1 = 0,1564.X \quad (6)$$

que é a função de transferência da balança. Expressando massa em função da deformação e adotando as denotações utilizadas anteriormente:

$$M = \frac{1}{0,1564} \varepsilon \quad (7)$$

A função de descarregamento é tecnicamente igual à de carga, devido à histerese desprezível que se vê graficamente na Fig. 6. Utilizando a Eq. 7 foram calculados valores de M de duas massas desconhecidas, a partir das deformações medidas com a balança construída. As mesmas massas foram pesadas em uma balança comercial de precisão, utilizada como referência. Os resultados são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3. Comparação entre a balança construída e uma balança de referência.

Balança de referência	Balança construída	Erro Abs. (g)	Erro Rel. (%)
311,4g	311,65g	0,25	0,080282
143,4g	143,5g	0,1	0,069735

3.2 Limite de Carga

Para avaliação da carga máxima de operação da balança, adotou-se um modelo viga em balanço para a qual a flecha máxima é dada por:

$$y_{máx} = \frac{F.L^3}{3.E.I} \quad (8)$$

Onde $L = 90,5$ mm, $E = 210$ GPa e $I = 8,1380$ mm⁴.

Através de constatação visual verificou-se que a deflexão máxima possível para o elemento elástico é de aproximadamente 10 mm. A partir dessa flecha a chapa de vidro (mesa da balança) começa a interferir fisicamente no cabeamento. Pela Eq. 8 a força correspondente a uma deflexão y de 10 mm é, aproximadamente 69 N, ou seja, aproximadamente 7 kg.

4. CONCLUSÕES

A partir dos dados obtidos, pode-se concluir que o modelo analítico adotado foi adequado. Os erros observados devem-se às limitações das hipóteses adotadas, porém sua pequena magnitude atesta a correta definição das mesmas.

A comparação do dispositivo construído com a balança de precisão comercial através das massas desconhecidas atestou a consistência da balança construída. O erro se mostrou baixo (aproximadamente 0,08% o mais alto) bem como a histerese.

REFERÊNCIAS

- [1]. F. P. Beer, E. R. Johnston Jr. “Resistência dos Materiais”, 3ª ed., São Paulo: Pearson Makron Books, 1995.
- [2]. Medições de deformações com strain gages: Guia prático. National Instruments. Disponível em: < <http://www.ni.com/white-paper/7130/pt>>. Acesso em: 15/03/2013.
- [3]. B. Willian, “Instrumentação e Controle”, Ed. Hemus, São Paulo, SP.