

REFINAMENTO DO CIRCUITO ELÉTRICO E AFERIÇÃO DE TRANSDUTORES DE FORÇA (CÉLULAS DE CARGA)

Maria Beatriz Reis

Faculdade de Engenharia Campus de Ilha Solteira - Departamento de Engenharia Mecânica, Av. Brasil Norte, 503-H, biazinhareis@hotmail.com

Euler Barreto Júnior

Consultor Técnico em Extensometria, Passeio Ladário 109, eulerbarreto@terra.com.br

Antônio de Pádua Lima Filho

Faculdade de Engenharia Campus de Ilha Solteira - Departamento de Engenharia Mecânica, Av. Brasil Centro, 56, padua@dem.feis.unesp.br

Resumo. *Este trabalho apresenta um estudo sobre a determinação da capacidade de células de carga sem identificação e de conexões possíveis de serem executadas em seu circuito elétrico, através de resistores confeccionados com fios metálicos específicos, para eliminar a influência da variação da temperatura e o desvio do zero sem carga. As células que tiveram seus circuitos acrescentados de resistores foram avaliadas e apresentaram boa precisão para tais dispositivos. Após o refinamento, foi feita a aferição da célula de carga de 980,7 N (100kgf) e traçou-se sua curva de calibração.*

Palavras-chave: *célula de carga, extensômetros, transdutor de força.*

1. INTRODUÇÃO

1.1 Célula de carga

Célula de carga é um transdutor elétrico-mecânico que transforma uma solicitação mecânica em um sinal elétrico. Posicionando-se o transdutor no ponto onde é aplicada a força física, medimos sua magnitude através de um condicionador de sinais e um sistema de aquisição de dados.

As células de carga como transdutores de força têm sido usadas, por exemplo, em balanças comerciais, próteses instrumentadas para deficientes físicos, na automatização e controle de processos industriais, segundo Pécora⁽¹⁾, Pellizzer⁽²⁾ e Barreto⁽³⁾.

Segundo Barreto⁽³⁾, o princípio de funcionamento das células de carga baseia-se na variação da resistência ôhmica de um sensor denominado extensômetro ou *strain gage*, quando submetido a uma deformação. Utiliza-se comumente, em células de carga, quatro extensômetros ligados entre si (E1, E2, E3 e E4) formando uma ponte de Wheatstone, representada na Figura 1.

O sinal gerado no desbalanceamento desta ponte, em virtude da deformação dos extensômetros, é proporcional à força aplicada. Este sinal é medido e assim se obtém o valor da força em questão.

A montagem dos extensômetros em circuito de ponte de Wheatstone aumenta a sensibilidade, a linearidade e a estabilidade. Mesmo assim, para se obter um transdutor altamente estável, é necessário efetuar algumas correções no circuito elétrico. De acordo com Barreto⁽³⁾, algumas técnicas de compensação usadas são: ajuste do desvio do zero com a temperatura sem carga, ajuste do zero sem carga, ajuste do módulo (variação da temperatura com carga), ajuste de sensibilidade e ajuste de impedância. As técnicas empregadas neste trabalho são discriminadas a seguir.

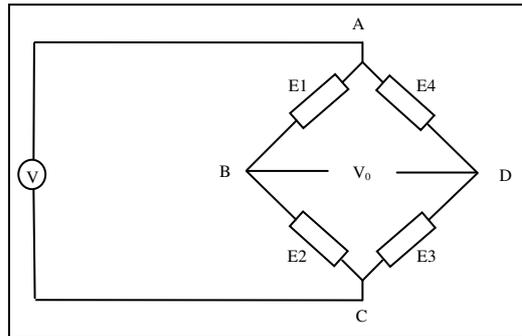


Figura 1. Ligação dos extensômetros em circuito de ponte completa. Pontos de entrada e saída são respectivamente A e C; e B e D. V e V_0 são respectivamente voltagem de entrada e saída.

1.2. Ajuste do desvio do zero com a temperatura sem carga.

Em geral, o transdutor sem solicitação não deve variar a leitura inicial (zero) mesmo que haja variação na temperatura. Tal variação gera deformações por dilatação em corpos sólidos que poderiam ser confundidas com deformações provocadas por cargas externas aplicadas. Assim, torna-se necessário compensar os efeitos de temperatura no circuito de Wheatstone, através do uso de resistências elétricas que variem com a temperatura de forma inversa à dos extensômetros.

Para corrigir qualquer desvio de zero com a temperatura, ajusta-se o circuito inserindo-se um resistor confeccionado, por exemplo, com um fio ou lâmina de cobre, como mostra a Figura 2.

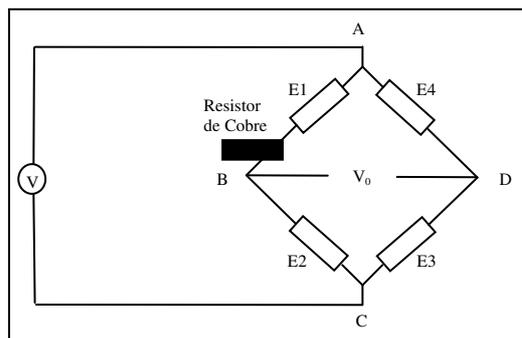


Figura 2. Circuito com a resistência para ajuste de desvio de zero com a variação da temperatura, Barreto⁽³⁾.

1.3. Ajuste do desvio do zero sem carga.

O transdutor deverá ter um sinal de saída igual a zero quando não está sendo solicitado. Para que isto aconteça, é necessário fazer um ajuste inserindo no circuito uma resistência confeccionada com materiais que não variem com a temperatura, como o resistor de Manganina (12,0%-Mn-2,0%-Ni) [3], mostrado na Figura 3.

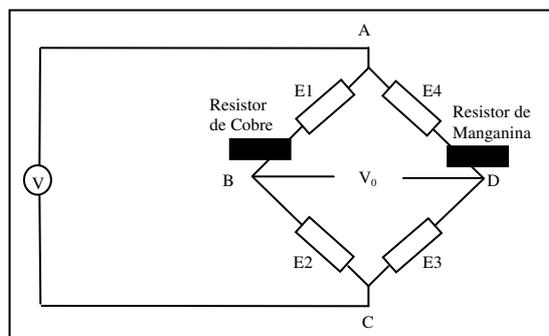


Figura 3. Circuito com as resistências para ajuste de desvio de zero com a variação da temperatura e para ajuste do desvio de zero sem carga, Barreto⁽³⁾.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é verificar a capacidade das células de carga não identificadas e, em seguida, fazer o refinamento de seu circuito e aferição para posterior utilização dessas células em temperaturas de 0° C a 50° C.

3. MÉTODOS

3.1. Determinação das capacidades das células de carga.

Foram utilizadas quatro células de carga em fase de acabamento que podem ser observadas na Figura 4.

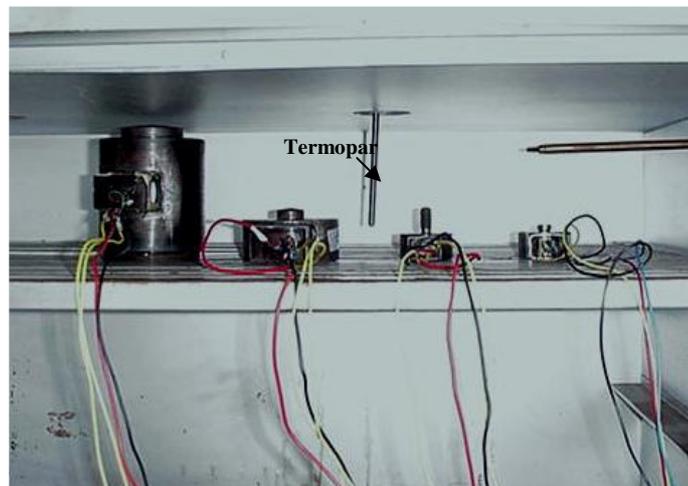


Figura 4. Células de carga dentro da estufa para realizar os ajustes de temperaturas necessárias.

Para a determinação da capacidade das células de carga, utilizou-se uma prensa estática modelo C-1006 da Pavitest, com capacidade de 39228 N (4000 kgf), dois anéis dinamométricos de 39228 N (4000 kgf) e 5884,2 N (600 kgf) com sensibilidade de leitura de 19,89 N/div (2,028 kgf/div) e 18,68 N/div (1,905 kgf/div), respectivamente, e um indicador de deformação analógico modelo T-832 da Transduotec.

Na prensa estática, aplicaram-se progressivamente cargas de compressão. As capacidades das células de carga foram obtidas pelas leituras no medidor de deformação. Todas as células de carga investigadas tinham o fundo de escala de 4000 μ e de acordo com o fabricante. O anel dinamométrico conferiu a carga aplicada em cada célula.

3.2. Ajuste do desvio do zero com a temperatura sem carga.

O seguinte passo foi o ajuste do desvio do zero com a temperatura sem carga. Para tal procedimento utilizou-se o indicador de deformação T-832 e uma caixa seletora modelo CS-23T da Transduotec, um indicador de temperatura (multímetro modelo 4900TII da True RMS), um termopar tipo K de 6mm de diâmetro por 200mm de comprimento, e uma estufa modelo 315-SE da FANEM.

As células foram colocadas na estufa e seus fios foram ligados à caixa seletora e esta ao medidor de deformação. O termopar foi posicionado de modo a ficar o mais próximo possível das células de carga. A leitura de temperatura foi feita com o auxílio do multímetro. A Figura 5 mostra a disposição desses aparelhos.

A temperatura ambiente dentro da estufa foi obtida e fez-se a leitura no medidor de deformação para cada célula de carga. A estufa foi então ligada e, após 7 horas, a temperatura atingiu aproximadamente 50°C. As leituras de deformação foram novamente feitas em cada célula.

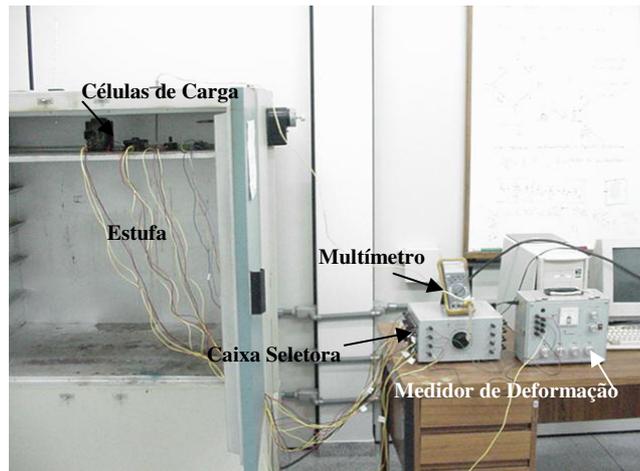


Figura 5. Montagem dos equipamentos para o ajuste do desvio do zero com a temperatura sem carga.

A estufa foi desligada para atingir a temperatura ambiente e recomeçou-se o ciclo de medidas das deformações. Este procedimento foi repetido até estabilização da relação $\Delta L/\Delta T$, onde ΔL e ΔT são respectivamente, a variação em microdeformação ($\mu\epsilon$) e da temperatura.

Segundo Barreto⁽³⁾, uma média dos valores de $\Delta L/\Delta T$ de cada célula foi obtida. O valor da resistência feita com fio de cobre a ser acrescentada no braço da ponte foi calculado utilizando a Equação 1:

$$R_0 = \frac{K \cdot \epsilon \cdot R_p}{\alpha \cdot \Delta T}, \quad (1)$$

onde:

R_0 = Resistência para ajuste de zero devido à variação de temperatura;

K = Fator do extensômetro (igual a 2);

ϵ = Deformação devido à variação da temperatura;

R_p = Resistência da ponte (120, 240, 350 ou 480 Ω);

ΔT = Variação da temperatura; e

α = Variação da resistividade do fio utilizado na resistência em função da variação da temperatura (cobre = 0,40%/°C).

3.3. Ajuste do desvio do zero sem carga.

A partir das leituras feitas com o medidor de deformação e com o auxílio da Equação 2, calculou-se o valor da resistência de manganina para compor o circuito como ilustrado na Figura 3.

$$\Delta R = K \cdot \epsilon \cdot R_p, \quad (2)$$

onde:

ΔR = Resistência para ajuste de zero;

K = Fator do extensômetro;

ϵ = Deformação medida sem que o transdutor esteja solicitado; e

R_p = Resistência da ponte (120, 240, 350 ou 480 Ω).

Após inserir a resistência de manganina, que pode ser vista na Figura 6, as leituras foram feitas novamente com o medidor de deformação.

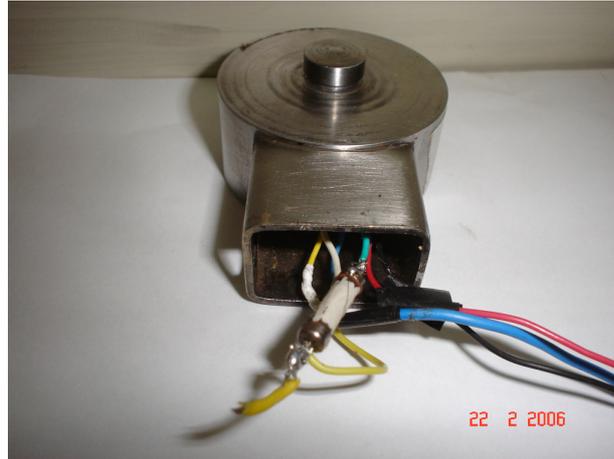


Figura 6. Célula de Carga de 980,7 N (100 kgf) com resistor de manganina inserido em seu circuito.

3.4. Aferição da célula de 980,7 N (100kgf)

Para tal procedimento utilizou-se uma prensa estática modelo C-1006 da Pavitest, com capacidade de 39228 N (4000 kgf), um anel dinamométrico de 5884,2 N (600 kgf) com sensibilidade de leitura de 18.68 N (1,905 kgf/div), um multímetro modelo 4900TII da True RMS e um condicionador de sinais e dados TMDE - Sortec.

4. RESULTADOS

4.1. Determinação das capacidades das células de carga.

As capacidades das células de carga verificadas são de 980,7 N (100 kgf), 9807 N (1000 kgf), 49035 N (5000 kgf) e 98070 N (10000 kgf). As resistências das pontes das células de 980,7 N e a de 49035 N são de 350 Ω . A resistência da ponte da célula de 9807 N é de 120 Ω e a da célula de 98070 N é de 480 Ω .

4.2. Ajuste do desvio do zero com a temperatura sem carga.

A Figura 7 mostra a relação $\Delta L/\Delta T$ à temperatura ambiente e a 50°C aproximadamente ao longo do tempo. Os pontos plotados na Figura 6 representam a variação entre os dados obtidos a 50°C e a temperatura ambiente.

Nas medições feitas com a célula de carga de 98070 N, houve muita interferência na leitura e não se levou adiante seu refinamento.

Como se pode observar na Figura 7, a variação da resistência da célula de carga de 9807 N com a temperatura é quase nula, não precisando efetuar a sua compensação.

Para as células de carga de 980,7 N e de 49035 N, as médias dos valores de $\Delta L/\Delta T$ foram de 1,26 $\mu\epsilon/^\circ\text{C}$ e 2,25 $\mu\epsilon/^\circ\text{C}$, respectivamente. O cálculo das resistências para o ajuste da temperatura, usando a Equação 1, sugere que não é preciso tal correção, já que as resistências a serem feitas seriam de valor muito pequeno (0,9 m Ω e 1,6 m Ω , respectivamente).

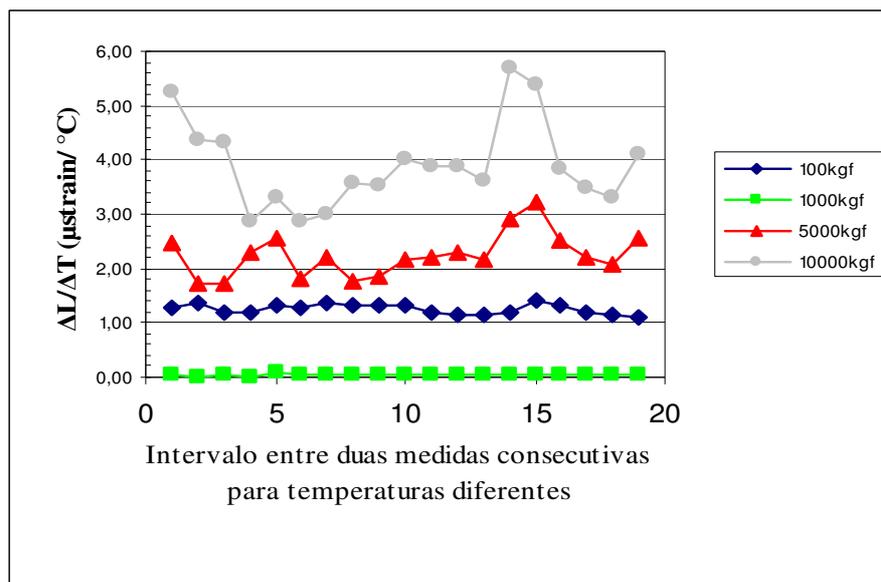


Figura 7. Relação $\Delta L/\Delta T$ das células de carga ao longo do tempo.

4.3. Ajuste do desvio do zero sem carga.

As leituras das células de carga de 100kgf, 1000kgf e 5000kgf foram $2660\mu\epsilon$, $626\mu\epsilon$ e $277\mu\epsilon$, respectivamente.

Depois de colocadas as resistências para o ajuste do desvio do zero sem carga, as leituras obtidas para as células de carga de 100kgf, 1000kgf e 5000kgf foram $70\mu\epsilon$, $-17\mu\epsilon$ e $38\mu\epsilon$, respectivamente.

4.4. Aferição da célula de 980,7 N (100kgf)

Os dados obtidos no procedimento de aferição podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores obtidos na aferição da Célula de Carga de 980,7 N.

Medida	Anel de 5884 N	Multímetro - mVolts (cinco leituras)					Média e desvio
1	0	0	0	0	0	0	0 ± 0
2	93	595	574	587	596	575	585 ± 13
3	187	1130	1147	1162	1138	1168	1149 ± 20
4	280	1750	1718	1724	1732	1743	1733 ± 16
5	374	2320	2310	2300	2300	2320	2310 ± 12
6	467	2840	2870	2890	2880	2880	2872 ± 24
7	561	3430	3450	3450	3470	3450	3450 ± 18
8	654	4000	4020	4040	4040	4020	4024 ± 21
9	747	4580	4590	4600	4610	4590	4594 ± 14
10	841	5140	5150	5180	5180	5160	5162 ± 22
11	934	5670	5690	5720	5720	5710	5702 ± 27
12	1028	6240	6240	6280	6280	6270	6262 ± 25

Os valores médios foram utilizados para a construção da curva de calibração da célula, que pode ser vista na Figura 8.

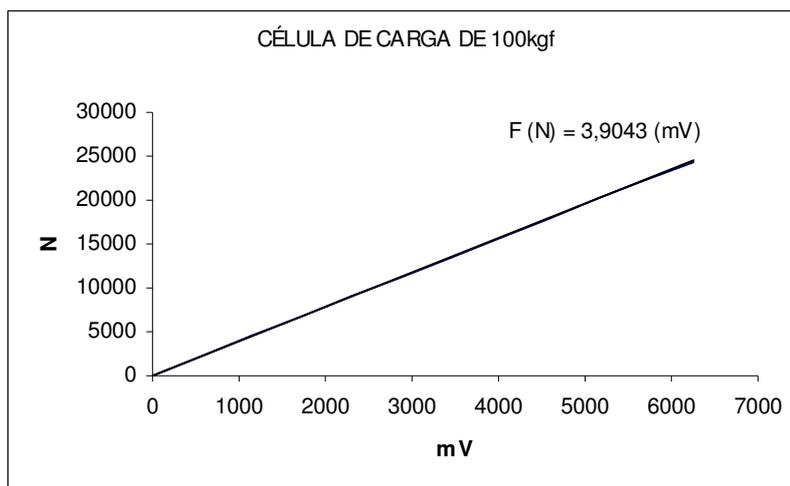


Figura 8. Curva de calibração da célula de carga de 980,7 N.

Como se observa no gráfico, a aferição desta célula de carga fornece a seguinte relação:

$$F \text{ (N)} = 3,9043 \text{ (mV)} \quad (3)$$

5. DISCUSSÃO

A célula de carga de 98070 N apresentou muita interferência na leitura provavelmente devido a problemas de solda interna. Este problema pode ser resolvido abrindo-se a célula de carga para verificar as causas dessa interferência.

A deformação quase nula da célula de 9807 N, em função da variação da temperatura, justifica o fato de não ser necessário fazer o ajuste do zero com a temperatura sem carga.

As células de carga de 980,7 N e 49035 N apresentaram uma pequena variação das resistências com a variação da temperatura. Entretanto, tais variações estão dentro dos parâmetros aceitáveis de precisão para células de carga. Assim, o ajuste térmico não foi feito.

Em todas as células de carga investigadas, a leitura no medidor de deformação não ultrapassou a variação de $200\mu\epsilon$ e, de acordo com Barreto⁽³⁾, isto indica que todas elas obtiveram uma boa precisão após os ajustes realizados.

6. CONCLUSÃO

A célula de 98070 N deve ser aberta para uma posterior análise uma vez que foi detectada uma grande interferência da leitura no medidor de deformação.

As pequenas variações das resistências com a variação da temperatura corresponderam à expectativa, já que as células foram produzidas há um bom tempo, ocorrendo um “envelhecimento” natural das mesmas.

Os ajustes de zero sem carga, feitos com resistores de manganina, foram bem sucedidos, deixando as células ajustadas com a precisão requerida para este tipo de dispositivo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. PÉCORA, José Ricardo. **Análise comparativa das alterações nos fluxos de tensão do joelho nas próteses totais e unicompartimentais cimentadas Estudo em dez cadáveres humanos.** Disponível em <www.scielo.br/pdf/aob/v11n3/17766.pdf> Acesso em 22 setembro 2006.

2. BARRETO Júnior, Euler. **Módulo I – Aprenda extensometria, Princípios de funcionamento do extensômetro e Módulo II – Instrumentação e extensometria, Construa transdutores à base de strain gages**, 1998.
3. PELLIZZER, Eduardo e MUENCH, Piza Antonio. **Forças de mordida relacionadas a próteses parciais removíveis inferiores**. Rev Odontol Univ São Paulo, v. 12, n. 4, p. 401-407, out./dez. 1998. Disponível em <www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-06631998000400016> Acesso em 22 setembro 2006.
4. BARRETO Júnior, Euler. **Módulo I – Aprenda extensometria, Princípios de funcionamento do extensômetro e Módulo II – Instrumentação e extensometria, Construa transdutores à base de strain gages**, 1998.
5. Disponível na Internet via URL: <<http://www.celuladecarga.com.br/celulas>> Acesso em Novembro 2005.
6. Disponível na Internet via URL: <www.tecnalloy.com.br/superligas> Acesso em Fevereiro 2006.
7. Disponível na Internet via URL: <<http://paginas.terra.com.br/educacao/straingage>> Acesso em Janeiro 2006.

ELECTRICAL CIRCUIT REFINEMENT AND GAGING OF FORCE TRANSDUCTOR (LOAD CELLS)

Maria Beatriz Reis

Faculdade de Engenharia Campus de Ilha Solteira - Departamento de Engenharia Mecânica, Av. Brasil Norte, 503-H, biazinhareis@hotmail.com

Euler Barreto Júnior

Consultor Técnico em Extensometria, Passeio Ladário 109, eulerbarreto@terra.com.br

Antônio de Pádua Lima Filho

Faculdade de Engenharia Campus de Ilha Solteira - Departamento de Engenharia Mecânica, Av. Brasil Centro, 56, padua@dem.feis.unesp.br

Abstract: *The aim of this work is to determine the capacity of load cells which are not identified and set up them unloaded with electrical circuit using resistors made of specific metallic wires in such a way as to eliminate interference from the temperature and point zero variation. The load cells that added electrical resistors were re-evaluated and shown good precision. The calibration curve was achieved for the 980.7 N (100 kgf) load cell capacity after refinement needed.*

Keywords: *load cell, strain gages, force transducer.*