



**COBENGE 2005**

**XXXIII - Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia**

"Promovendo e valorizando a engenharia em um cenário de constantes mudanças"

12 a 15 de setembro - Campina Grande - Pb

Promoção/Organização: ABENGE/UFPE

## **CÉLULA DE CARGA PARA MEDIÇÃO DE ESFORÇOS DE TRAÇÃO E COMPRESSÃO**

**João Carlos Pinheiro Beck, Dr.** - beck@pucrs.br

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

Faculdade de Engenharia

Departamento de Engenharia Mecânica e Mecatrônica

Av. Ipiranga, 6681 - Prédio: 30 - Bloco: E - sala 167

CEP: 90619-900 - Porto Alegre - RS - Brasil.

**Isaac Newton Lima da Silva, Dr.** - isaac@pucrs.br

**José Roberto Haude** – haude@thyssenkruppelevadores.com.br

***Resumo:** Esta contribuição descreve o projeto e a construção de uma célula de carga executada em aço SAE 4340, vazada retangularmente, com furação de fixação nas duas extremidades, com a finalidade de poder trabalhar em tração e compressão. Esta célula de carga será capaz de identificar esforços de tração e compressão em diversos tipos de aplicações, apenas respeitando-se sua capacidade em função de sua geometria e natureza do material utilizado. A célula aqui descrita foi desenvolvida com o objetivo específico de integrar, um sistema de dispositivo limitador de carga constitutivo de um elevador, de acordo com a limitação dos materiais e coeficientes de segurança especificados.*

**Palavras chaves:** célula, carga, força, tração, compressão

### **1. INTRODUÇÃO:**

O presente projeto é de concepção simples e objetiva, de forma que a célula de carga seja fixada à uma base através de dois parafusos e conectada ao dispositivo contendo a carga através de um furo roscado. Desta forma, de acordo com o projeto, pode-se acoplar vários tipos de

elementos submetidos a esforços como por exemplo: bases para plataforma (compressão), estruturas ou barras de tração (tração), terminal olhal com correntes (tração), elevadores (tração) e balanças (compressão).

## 2. DESCRIÇÃO DA CÉLULA:

A célula de carga é fixada à base através de dois parafusos. Um terceiro parafuso com rosca M12x1.75 permite a conexão do dispositivo que contém a carga (ver figura 1)

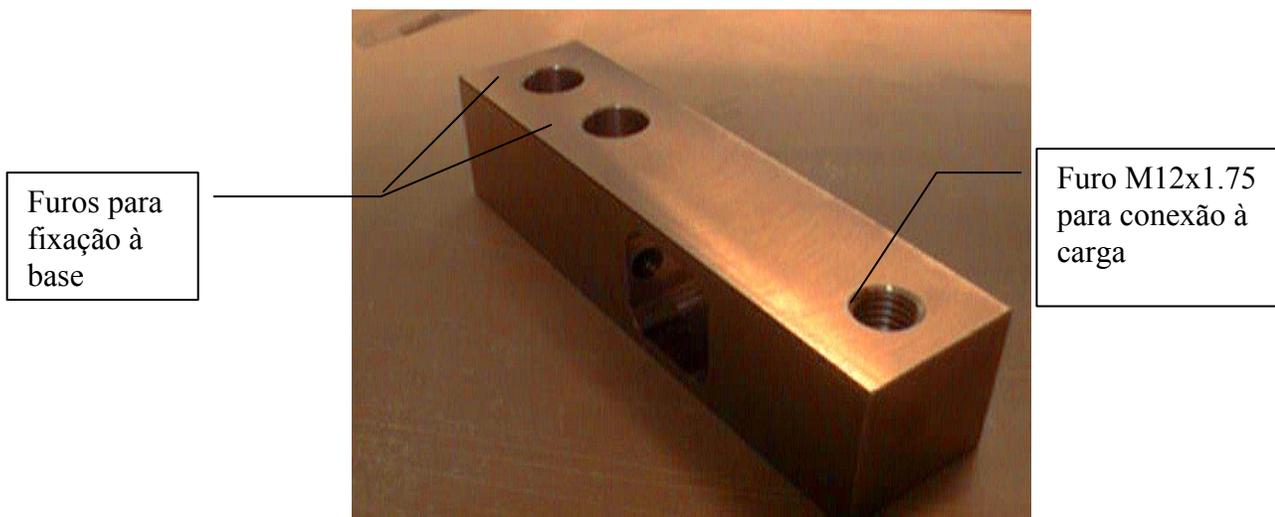


Fig. 1-Elementos de fixação da célula de carga

Exemplos de fixação da carga:

- Olhal com correntes;
- Pés para plataformas;
- Estrutura de sustentação para cargas suspensas;
- Balanças.

## 3. ASPECTOS TEÓRICO

### 3.1. Construção:

A construção da célula de carga deu-se através da instalação de uma *Ponte de Wheatstone* onde os extensômetros de resistência elétrica ( strain gages), com a configuração de meia ponte. Eles foram colados à célula de carga em locais estratégicos, sempre de forma longitudinal às deformações sofridas pelo metal para garantir alta sensibilidade do sistema e razoável compensação de temperaturas. Na figura 2, a seguir, mostra-se a posição de colagem dos extensômetros e respectivas ligações elétricas.



Fig. 2-Fixação dos strain-gages

O extensômetro elétrico ou strain-gage, é na sua forma mais completa, um resistor elétrico composto de uma finíssima camada de material condutor, depositado sobre um composto isolante [1]. Este é então colado sobre a estrutura, em teste, no caso, a célula de carga. Como o strain-gage é sensível às deformações oriundas das cargas presentes na estrutura, pode-se então estudá-las, medindo o comportamento de deformação no corpo. As tensões mecânicas são calculadas, considerando-se estas deformações e seu estado de orientação geométrica na peça. Uma vez que se pode utilizar a magnitude dos valores de deformação para medir as forças através dos extensômetros (que dependem exclusivamente do tipo de material e geometria da estrutura) fica fácil prever a carga. Desta forma é possível ter diversos tipos de estruturas que sejam sensíveis

aos muitos parâmetros físicos a estudar, tais como: força , pressão, torque, deslocamento, aceleração e vibração.

### 3.2. Formulário:

A sensibilidade de um extensômetro de resistência elétrica é descrita por meio de uma característica chamada fator de calibração, ou sensibilidade  $K$ , definida como a variação unitária na resistência dividida pela variação unitária no comprimento [2],

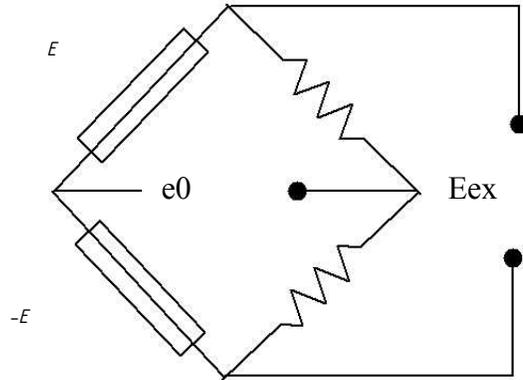
$$K = \frac{\Delta R / R}{\Delta l / l}$$

onde  $K$ = sensibilidade  
 $R$ = Resistência nominal do filamento metálico  
 $\Delta R$ = variação da resistência  
 $l$ = comprimento original do filamento  
 $\Delta l$ = variação do comprimento do filamento metálico

Estes extensômetros de resistência elétrica, normalmente são constituídos de Nicrome(80%Ni, 20%Cr),ou Manganin(4%Ni, 12%Mn, 84%Cu),ou Monel(67%Ni, 33%Cu) e Constantan(45%Ni, 55%Cu).Este último é de uso mais comum,devido a sua boa sensibilidade, seu baixo coeficiente de temperatura,sua facilidade de manuseio e soldagem,além de preço razoável, segundo BORCHARDT,I.G.,Extensômetros de Resistência Elétrica,strain gauges,Ed da Universidade UFRGS,1982.

Em geral os extensômetros comerciais mais utilizados possuem comprimentos de até 100mm, com em resistências elétricas de 120 $\Omega$  e 350 $\Omega$

Abaixo segue uma figura que ilustra o tipo de arranjo da Ponte de Wheatstone utilizada no presente projeto, segundo NATINGAL, C. L.,Instrumentation and Control, Fundamentals Applications, Wiley, 1990.



Equação de saída [mV/V] [3]

$$\frac{e_0}{E_{ex}} = \frac{K \epsilon}{2} \times 10^{-3}$$

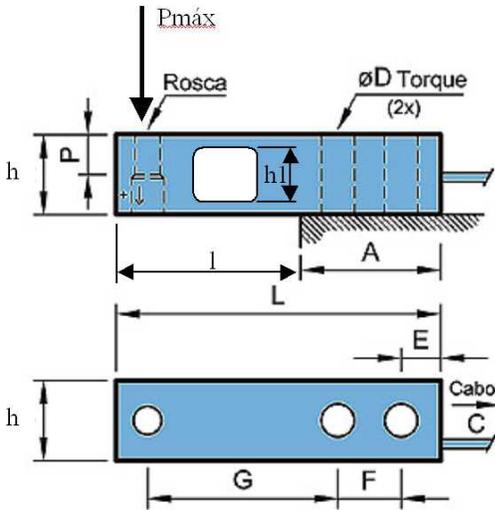
Onde: K = Gauge factor = 2,12

$E = \text{Resist\^encia equivalente}$  [3]

#### 4. CÁLCULO DE RESISTÊNCIA DO MATERIAL.

Na figura abaixo apresentam-se dois desenhos da célula construída, uma visão de topo e outra superior. Através destas figuras se pode ver, nitidamente, as furações onde se inserem os parafusos de fixação e o furo retangular onde foram colados os extensômetros.

A seguir, os parâmetros e valores admitidos para o cálculo de resistência da célula de carga.



$I = \text{Momento\_de\_Inércia}$

$$I = \frac{h^4}{12} - \frac{h_1^4}{12} = \frac{3,2^4}{12} - \frac{2,5^4}{12} = 5,48 \text{ cm}^4$$

$$M_{\max} = \text{Momento\_máximo} \quad M_{\max} = \frac{P \cdot l}{h}$$

$$M = \frac{\sigma_{\max} \cdot I}{l} = \frac{4800 \cdot 5,48}{7,3} = 3600 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$P = \text{Peso}$

$$P = \frac{M_{\max} \cdot h}{l} = \frac{3600 \cdot 3,2}{7,3} = 15790 \text{ N}$$

$C_s = \text{Coeficiente\_de\_segurança} = 2$

$$P_{\max} = \frac{P}{C_s} = \frac{1579}{2} = 790 \text{ kg} = 79 \text{ N}$$

Onde:

$$h = 3,2 \text{ cm} \quad h_1 = 2,5 \text{ cm} \quad l = 7,3 \text{ cm}$$

$$\sigma_{\max} = \text{Tensão\_máxima} = \sigma_e = 4800 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 4,8 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{I} \cdot l$$

## 5. MEDIÇÕES REALIZADAS:

As medições realizadas apresentam-se na tabela e gráfico abaixo.

PESO [kg]	Saída [mV]
8	1.30E+02
10	2.50E+02
12	3.40E+02
70	9.50E+02
74	1.22E+03

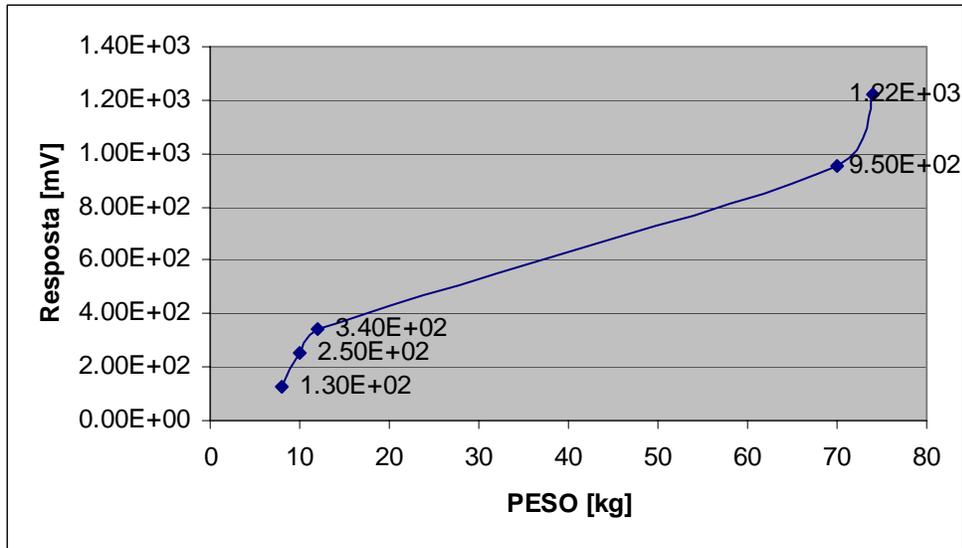


Gráfico mostrando a relação entre carga aplicada e tensão obtida.

## 6. DISCUSSÕES:

Do ponto de vista da aplicação, vale ressaltar que uma célula de carga com as propriedades empregadas neste protótipo torna-se de fácil utilização e proporciona uma boa característica de custo/benefício, uma vez que os materiais empregados são de uso comercial e facilmente encontrados no mercado brasileiro. Assim, isto agrega ao protótipo uma vantagem econômica que, como sabemos, tem importância fundamental no estudo de viabilidade de um produto em desenvolvimento em qualquer empresa.

Características do aço utilizado na construção do protótipo [4]:

Aço SAE 4340 – Composição: C 0,38-0,43%, Mn 0,60-0,80%, Pmax 0,035%, Smax 0,040%, Si 0,15-0,30%, Cr 0,70-0,90%, Ni 1,65-2,0%, Mo 0,20-0,30%.

Dureza Máxima = 27 HRC

$$\rho = 7833 \frac{kg}{m^3}$$

Tabela de custo do protótipo

Descrição	Quantidade	Custo Unitário[R\$]	Custo Total [R\$]
Hora-Máquina	2,0 h	16,21	32,42
Aço SAE 4340 – Barra redonda 2”	2 kg	6,90	13,80
Strain Gage	2 pç	2,50	5,00
Custo total			51,22

## 7. CONCLUSÃO:

Conclui-se, após todo o trabalho de pesquisa e desenvolvimento efetuado, que o projeto desenvolvido e o protótipo da célula de carga obtido foi bem sucedido. A célula de carga projetada e aqui apresentada como protótipo, pode ser utilizada na prática para fins industriais com toda a segurança e confiabilidade exigida para as mais diversas aplicações, inclusive no ramo de elevadores, que é uma exigente indústria na qual, a cada dia, necessita-se maior qualidade e melhor relação custo/benefício.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

1. Albert D. Helfrick & William D. Copper - Instrumentação Eletrônica Moderna e Técnicas de Medição – Prentice-Hall do Brasil – 1994

2. Borchardt, I.G. & Zaro, M.A. – Extensômetros de resistência elétrica, strain gauges – Editora da Universidade UFRGS, 1982
3. Chester L. Nachtigal – Instrumentation and Control Fundamental and Applications – Wiley – Interscience Publication – 1990
4. Metals Handbook Volume 1 – ASM Handbook Committee – American Society for Metals
5. <http://www.straingage.com.br>.

### ***Project of a Load Cell for traction and compression***

***Abstract:*** *This load cell will have the capacity of identify tension and compression efforts for any types of applications, whit the objective to integrate for example, a system of load limitation, in accordance with the limits and security coefficients choused for each use.*