

# MEDIÇÃO DE DEFORMAÇÃO UTILIZANDO-SE EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS SOLDADOS ATÉ A TEMPERATURA DE 422°C

**Paulo de Tarso Vida Gomes**

**Osmar Ribeiro Lourenço**

**Tanius Rodrigues Mansur**

Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN/CDTN), Caixa Postal 941, 30123-970, Belo Horizonte, MG, Brasil. E-mail: gomespt@urano.cdtm.br

**Ernani Sales Palma**

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

**Nilton da Silva Maia**

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG

## **Resumo**

Apresenta-se neste trabalho a medição de deformações em estruturas de aço carbono A 516 GRAU 65 e aço inoxidável austenítico AISI 304, utilizando-se extensômetros elétricos tipo HTW, de fabricação russa. A medição foi realizada utilizando-se ligação em meia ponte com duas configurações distintas: ligação com dois extensômetros fixos e ligação com um extensômetro fixo e um passivo.

Os resultados obtidos experimentalmente foram comparados com aqueles obtidos teoricamente para dois valores distintos de carregamentos. Paralelamente, verificou-se a influência da temperatura sobre os resultados obtidos.

**Palavras-chave:** Strain gage, Deformação, Alta temperatura

## **1. INTRODUÇÃO**

A extensometria em ambientes sujeitos a altas temperaturas requer o conhecimento prévio do comportamento da instalação extensométrica, principalmente no que diz respeito à variação da resistência elétrica dos extensômetros. Em tais casos, a resistência  $R$  dos extensômetros elétricos deve ser considerada como função da temperatura  $T$ , do tempo  $t$  e da deformação  $\epsilon$ , isto é,  $R = f(T, t, \epsilon)$  [Dally and Riley (1978)]. Muitos problemas de medições com extensômetros em altas temperaturas são gerados por condições ambientais tais como oxidação e corrosão. Umidade e agentes químicos irão atacar a instalação extensométrica mais severamente em altas temperaturas.

Através de sua fixação em um corpo-de-prova apropriado, um ou mais extensômetros de um determinado lote são submetidos a carregamentos, temperaturas e condições ambientais conhecidas. A partir de medições simultâneas de temperatura e deformação obtém-se curvas que caracterizam o seu comportamento nas condições de teste.

Assim, o objetivo deste trabalho é analisar a deformação em duas instalações extensométricas distintas sujeitas a carregamento e variação de temperatura.

## 2. METODOLOGIA

Utilizou-se duas vigas de isoflexão construídas em aço carbono A 516 grau 65 e aço inoxidável AISI 304. A Figura 1 mostra um desenho da viga de isoflexão com as dimensões e localização dos extensômetros.

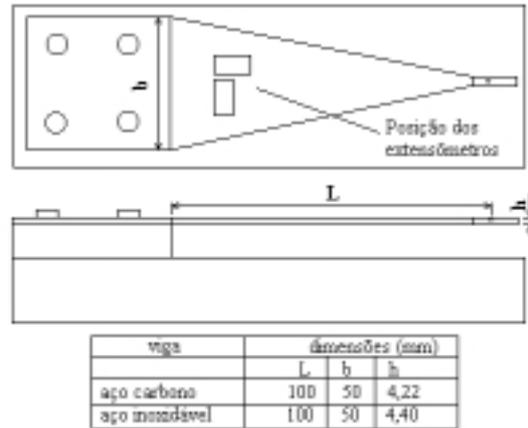


Figura 1. Viga de isoflexão.

Cada viga foi instrumentada com extensômetros de fabricação russa do tipo HTW e termopares do tipo K, de modo a se obter leituras simultâneas de temperatura e deformação. Os extensômetros fixos foram soldados nas vigas pelo processo de descarga capacitiva, e ligados em duas configurações diferentes (Figura 2):

- ligação em meia ponte com um extensômetro passivo e um fixo - a ligação denominada “instalação B” (Figura 2-a), é constituída de um extensômetro soldado (fixo) na viga por meio de solda capacitiva e de um extensômetro não soldado (passivo). Este extensômetro é posicionado de modo a manter contato com a superfície da viga sem estar rigidamente ligado a ela. Desta maneira, ele irá medir apenas a variação de temperatura, pois não acompanhará as deformações da viga.
- ligação em meia ponte com dois extensômetros fixos - a ligação denominada “instalação A” (Figura 2-b), é constituída de dois extensômetros soldados (fixos) à viga por meio de solda capacitiva, com seus eixos longitudinais fazendo um ângulo de 90° entre si.

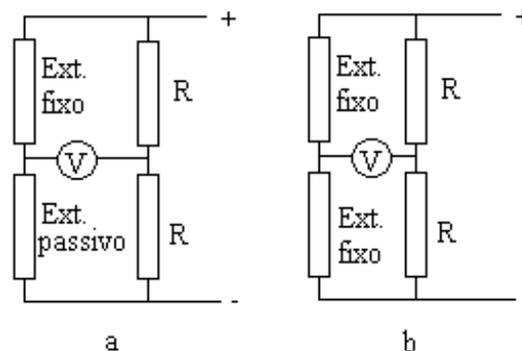


Figura 2. Esquema de ligação dos extensômetros.

Para testar o desempenho das instalações, foram realizados testes à temperatura ambiente com cargas de 5 kgf, 10 kgf e 15 kgf.

Posteriormente, as instalações foram submetidas à variação de temperatura na faixa de 20°C a 420°C para determinação da deformação aparente. A seguir foram realizados testes com carga e variação de temperatura.

### 3. CÁLCULOS TEÓRICOS E EXTENSOMÉTRICOS

As tensões e deformações nas vigas de isoflexão foram calculadas a partir da teoria da resistência de materiais, utilizando-se as seguintes equações [Beer e Johnston (1982)]:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{6FL}{bh^2} \quad (1)$$

$$\sigma = E\varepsilon \Rightarrow \varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{6FL}{Ebh^2} \quad (2)$$

onde:

F é a força aplicada;

L é a distância da força à seção transversal considerada;

E é o módulo de elasticidade do material utilizado na viga, E = 210000 MPa;

b é a largura da seção transversal da viga;

h é a altura da seção transversal da viga;

$\sigma$  é a tensão normal

$\varepsilon$  é a deformação normal.

Os cálculos extensométricos foram feitos a partir das seguintes equações [Hannah e Reed (1992)]:

a) ligação em 1/2 ponte com um extensômetro fixo e um passivo:

$$\varepsilon = \frac{4\Delta V}{VK \times 10^3} \quad (3)$$

b) ligação em 1/2 ponte com dois extensômetros fixos:

$$\varepsilon = \frac{4\Delta V}{VK(1 + \mu) \times 10^3} \quad (4)$$

onde:

$\varepsilon$  é a deformação medida;

$\mu$  é o coeficiente de Poisson do material da viga;

$\Delta V$  é a tensão de saída da ponte de Wheatstone em mV;

V é a tensão de alimentação da ponte de Wheatstone em Volt.

### 4. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

O forno utilizado para aquecimento das vigas de isoflexão tem as seguintes características:

Temperatura máxima: 1200°C, controle de aquecimento: 25°C e taxa de aquecimento: 3,8°C/min.

Os extensômetros utilizados têm as seguintes características:

Extensômetros HTW:

Resistência nominal:  $100 \pm 1 \Omega$ , fator de sensibilidade (K): 2,0 e temperatura máxima de trabalho: 500°C.

Os instrumentos de medição usados foram:

Fonte de tensão constante: 0 a 5 Volt, voltímetro digital de 4 1/2 dígitos e seletor de canais com capacidade para 10 pontes de Wheatstone.

## 5. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A Tabela 1 mostra os valores de deformações calculados para as vigas de aço carbono e aço inoxidável com carregamentos de 4 kgf e 10 kgf, através da equação 2. As diferenças entre os valores calculados para uma mesma carga são devido as diferenças nas dimensões das vigas.

Tabela 1. Valores teóricos de deformação para cargas de 4 kgf e 10 kgf

Viga de Isoflexão	Deformação ( $\mu$ m/m)	
	Carga 4 kgf	Carga 10 kgf
Aço carbono	128	320
Aço inoxidável	118	296

A Figura 3 mostra o comportamento das instalações A e B submetidas a carregamento de 5, 10 e 15 kgf à temperatura ambiente.

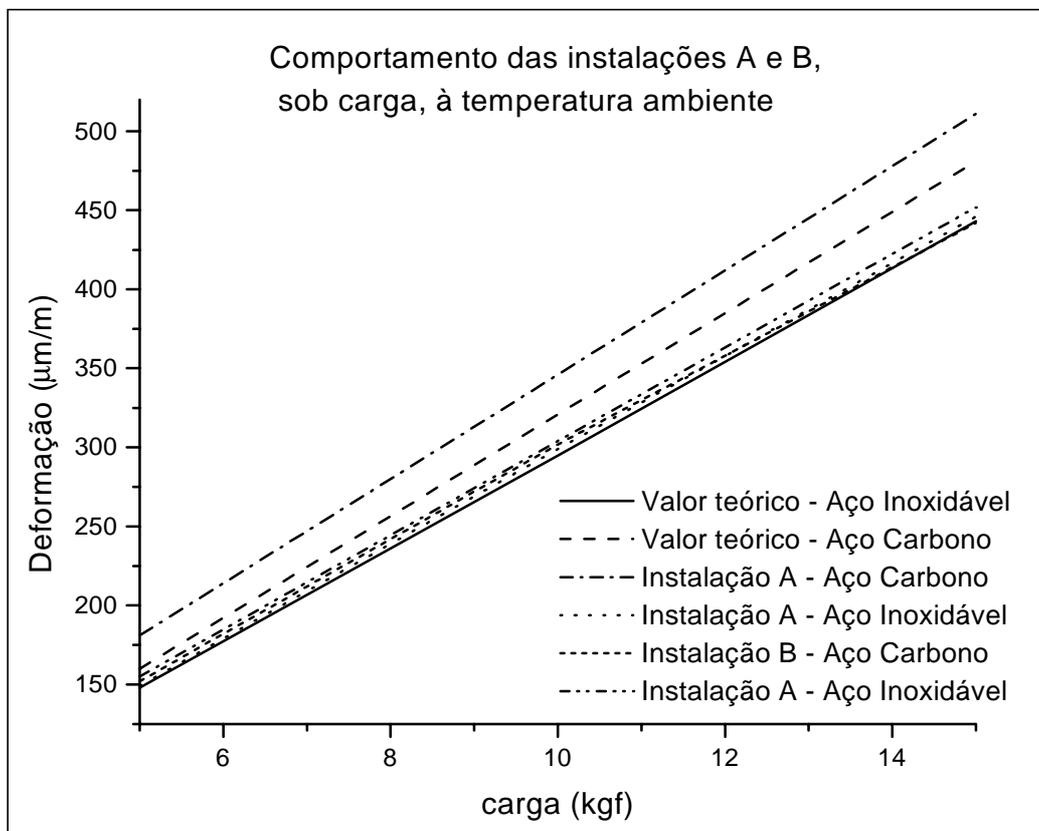


Figura 3. Comportamento das instalações A e B, sob carga, à temperatura ambiente.

As Figuras 4 e 5 mostram a deformação aparente das instalações A e B na viga de aço carbono e na viga de aço inoxidável, respectivamente.

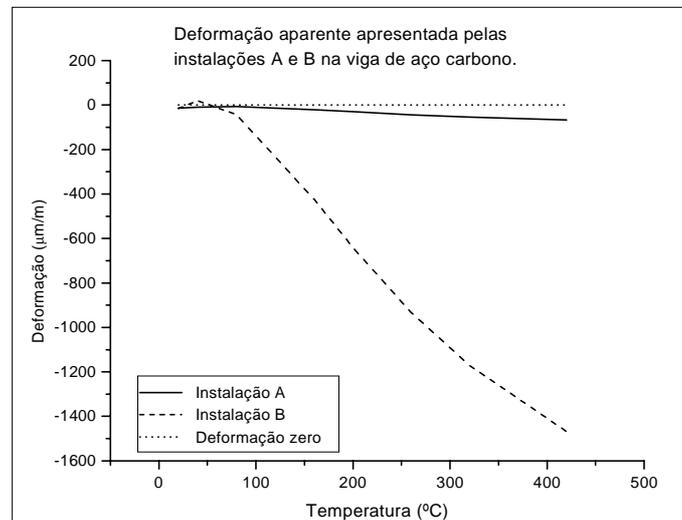


Figura 4. Deformação aparente apresentada pelas instalações A e B na viga de aço carbono.

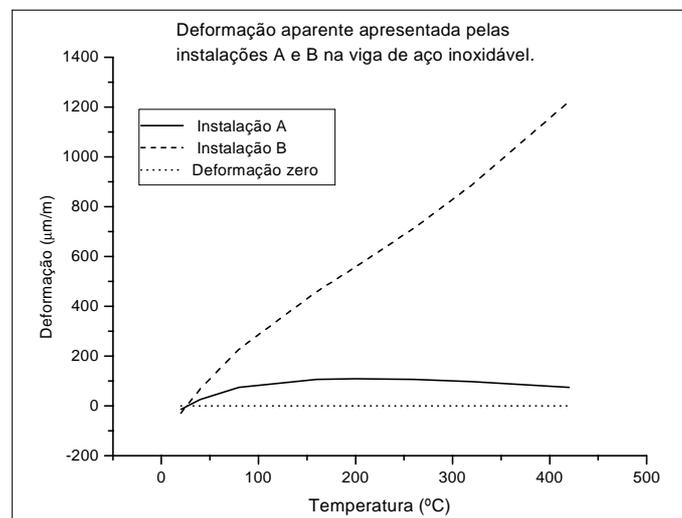


Figura 5. Deformação aparente apresentada pelas instalações A e B na viga de aço inoxidável.

As Figuras 6 e 7 mostram o comportamento das instalações A e B na viga de aço carbono com cargas de 4 kgf e 10 kgf, respectivamente.

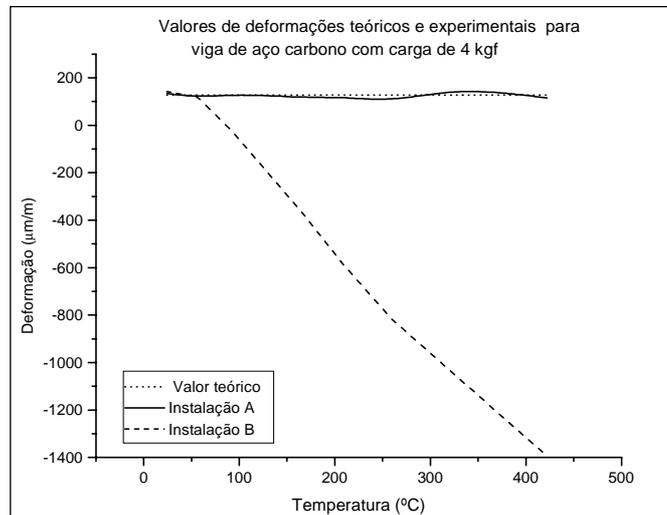


Figura 6. Valores de deformações teóricas e experimentais para a viga de aço carbono com carga de 4 kgf.

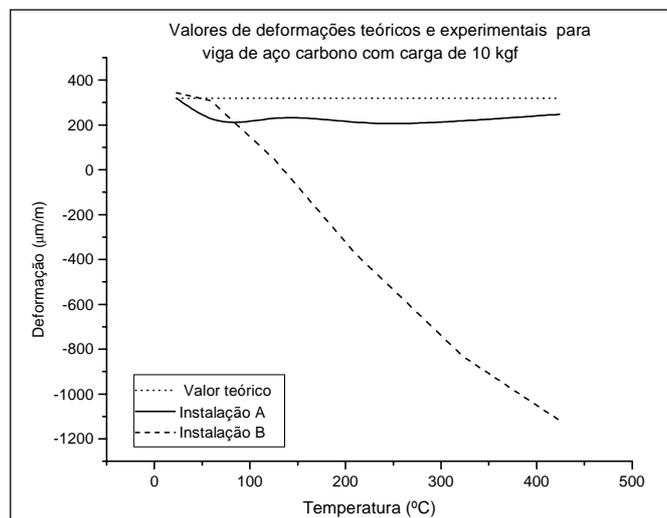


Figura 7. Valores de deformações teóricas e experimentais para a viga de aço carbono com carga de 10 kgf.

As Figuras 8 e 9 mostram o comportamento das instalações A e B na viga de aço inoxidável com cargas de 4 kgf e 10 kgf, respectivamente.

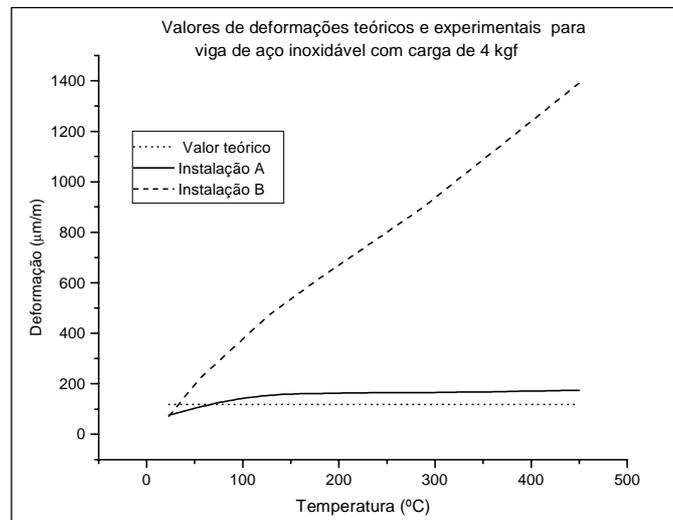


Figura 8. Valores de deformações teóricas e experimentais para a viga de aço inoxidável com carga de 4 kgf.

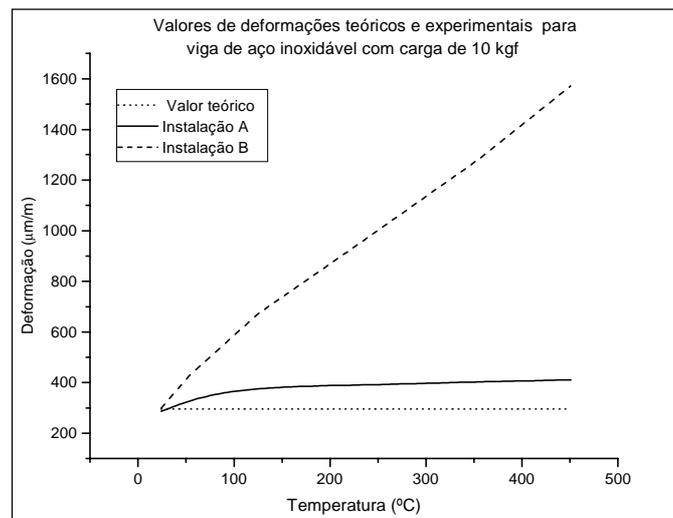


Figura 9. Valores de deformações teóricas e experimentais para a viga de aço inoxidável com carga de 10 kgf.

## 6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Como pode ser visto na Figura 3, tanto a instalação A quanto a instalação B, apresentam um bom desempenho para medição de deformações na temperatura ambiente.

Os valores de deformação aparente obtidos com a instalação A mostram a eficiência da mesma, na eliminação do efeito da temperatura sobre a instalação extensométrica. Para a instalação A, na faixa de temperaturas entre 40°C e 420°C, e, admitindo-se os valores absolutos para deformação aparente, o percentual de redução da mesma está entre 95% e 98% para a viga de aço carbono e entre 90% e 98% para a viga de aço inoxidável, Figuras 4 e 5.

A diferença observada entre os valores calculados e os valores experimentais obtidos na instalação B deve-se, provavelmente, à grande rigidez do sistema de fixação do extensômetro passivo, o que restringiu sua mobilidade além do esperado.

A instalação A, apresentou resultados pouco diferentes dos valores calculados tanto para o aço inoxidável quanto para o aço carbono, Figuras 6 a 9. É importante observar que a diferença manteve-se constante para cada carga durante a variação de temperatura.

## 7. CONCLUSÕES

Embora a teoria mostre a viabilidade do uso de extensômetros móveis na medição de deformações em estruturas ou componentes submetidos a altas temperaturas, deve-se pesquisar métodos que garantam a total mobilidade dos mesmos.

Os resultados mostram que, para se medir deformação em componentes ou estruturas submetidos a altas temperaturas, os melhores resultados são obtidos quando se fixam (soldagem por descarga capacitiva) os extensômetros no mesmo campo de temperatura, instalação A.

O melhor desempenho na medição de deformação em função de carga e temperatura foi obtido na instalação A em viga de aço carbono.

## 8. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos – pelo suporte financeiro dado à esta pesquisa sob contrato número RECOPE 7798031700, referência 1567/96.

## 9. REFERÊNCIAS

- Beer, F. P., Johnston, E. R., 1982, “Resistência dos Materiais”, São Paulo, SP, McGrall-Hill.
- Dally, James W. & Riley, William F., 1978, “Experimental Stress analysis”, 2ed. New York, NY, McGrall-Hill.
- Hannah, R. L., Reed, S. E., 1992, “Strain Gage User’s Handbook”, Bethel, USA, Elsevier Science Publishers Ltda and Society of Experimental Mechanics.
- Sergeev, A, Hursudov, G.H., Senin, V.S., Mijlev, JU.K., Maslov, S.V., Comitê Governamental da Rússia para Normalização, 1989, “Cálculos e testes em Resistência Mecânica”, Centro de Investigações Científicas da URSS para Normalização e Estruturação de Máquinas, Moscou.
- Schenk, , 1972, “Une Solution à Léxtensométrie Haute Temperature: Le procedé Rokide”, France: Mesures.