

## UNIDADE DE MEDIÇÃO UTILIZANDO SENSORES ÓTICOS PARA MONITORAÇÃO DE TEMPERATURA E DEFORMAÇÃO

**Leandro Grabarski & Jean Carlos Cardozo da Silva**

UTFPR Laboratório de Ótica e Optoeletrônica

**Resumo** - A proposta deste trabalho é apresentar o desenvolvimento de uma unidade de medição que emprega sensores óticos, mais especificamente redes de Bragg em fibra ótica. A unidade é projetada para medir temperatura e deformação (estática ou dinâmica). O principal componente da unidade de medição é o dispositivo ótico integrado da empresa Santec (OWL-10-WT). Ele atua como elemento transdutor para conversão do sinal luminoso em sinal elétrico. A técnica utilizada é baseada na intensidade do sinal ótico. A unidade apresenta a vantagem de possuir menor custo em relação a sistemas similares.

**Palavras-Chave:** Unidade de medição, Sensores Óticos, Redes de Bragg.

## INTERROGATION UNIT TO MESURAMENT OF TEMPERATURE AND STRAIN USING OPTICAL SENSORS

**Abstract**- The goal of this paper is to describe the development of an interrogation system using fiber optical sensors, specifically Fiber Bragg Grating. The interrogation unit is able to measure temperature or strain (static or dynamic). The main component in the system is an optical integrated device, manufactured by Santec (OWL-10-WT). It operates as a transducer of optical signals. The interrogation principle is based on an intensity-based signal associated with the measurand, namely strain or temperature. The interrogation unit also shows a low cost if compared to other similar systems.

**KeyWord:** Interrogation Unit, Optical Sensors, Fiber Bragg Grating.

### 1. INTRODUÇÃO

Com o amplo desenvolvimento da utilização de fibras óticas na comunicação, aumentou-se a pesquisa na área de fotônica, resultando no desenvolvimento de fibras óticas para as mais diferentes aplicações no ramo de sensores e comunicações, associados a outros componentes como fontes luminosas, fotodiodos, acopladores óticos de alta qualidade e com preços competitivos. A idéia de utilizar a fibra ótica como elemento sensor apresenta algumas vantagens, que advêm das suas próprias características físicas, como imunidade eletromagnética, peso e tamanho reduzidos, alta sensibilidade e ser inerte na maioria dos meios. Além de possibilitar sensoriamento remoto devido à baixa atenuação do sinal ótico guiado pela fibra ótica.

O elemento sensor em fibra ótica utilizado neste trabalho é a rede de Bragg ou FBG - acrônimo em inglês de Fiber Bragg Grating. Uma rede de Bragg é gerada quando o núcleo de uma fibra fotossensível é exposto a um padrão de interferência de luz com comprimento de onda e intensidade características, normalmente ultra-violeta. Essa exposição gera uma modulação periódica do índice de refração ao longo do núcleo, que por sua vez, dá origem a planos de reflexão no núcleo da fibra ótica. Caso o período dessa modulação de planos de índice de refração obedecam a determinadas características, a propagação da luz em cada plano subsequente da rede irá interferir construtivamente na direção contra-propagante,

gerando um pico de reflexão. A forma de produzir esse sensor foi demonstrada por Hill et al. (1978), porém não foi um método de fácil reprodução. Apenas uma década mais tarde Meltz et al. (1989) propuseram uma técnica que se difundiu e impulsionou pesquisas correlacionadas a redes de Bragg.

A primeira tentativa de patentear um sistema utilizando fibras óticas como elemento sensor, não utilizava rede de Bragg (Menadier, Kissinger & Adkins, 1967). Na terceira edição do livro Handbook of Modern Sensors (FRADEN, 2003) são descritos, em cerca de vinte páginas, alguns sensores óticos. Mas, em nenhum momento, faz-se referência à rede de Bragg. Essa omissão demonstra que, apesar do grande potencial da rede de Bragg como sensor, ainda não se difundiram sistemas baseados nela.

É nessa lacuna na área de sensores óticos da utilização de rede de Bragg em fibra ótica que a unidade de medição proposta se insere, explorando-se o potencial da rede de Bragg, a unidade de medição une os benefícios desse sensor a um equipamento de baixo custo. Com o princípio da rede de Bragg demonstrado há pelo menos duas décadas, ainda se mantém como um elemento de alta tecnologia.

#### 1.1. Técnica de Referência da Unidade de Medição

O objetivo do sistema de medição proposto é interrogar a FBG. Isto é, determinar algumas das suas características:

refletividade, largura de banda e comprimento de onda de Bragg. Baseado nos dados fornecidos pelo sistema de medição pode-se correlacionar a temperatura em que a FBG se encontra ou as deformações nela aplicadas. Diversos sistemas de medição se baseiam em arranjos de referência propostos por Othonos (1997) e Zhao & Liao (2004), que são baseados na utilização de fontes óticas sintonizáveis e filtros óticos para medir temperatura e deformação. Para a unidade de medição proposta, a técnica de demodulação é baseada na intensidade do sinal ótico. Essa técnica possui como vantagem um custo mais baixo em relação aos sistemas baseados em demodulação de fase e de frequência. Também possui melhores características frente à aquisição de sinais dinâmicos.

A demodulação baseada em intensidade, em linhas gerais, trabalha com dispositivos que são seletivos no comprimento de onda. Ou seja, o dispositivo responde de forma diferente dependendo do comprimento de onda do feixe luminoso incidente. Este comportamento é análogo a um filtro num sistema elétrico dependente da frequência, como exemplo, um filtro passa-baixa. O arranjo proposto é uma modificação de um sistema de demodulação de referência proposto por Davis & KERSEY (2004), no qual o princípio de funcionamento é baseado em acopladores óticos seletivos em comprimento de onda. Para a unidade de medição, o princípio de funcionamento é baseado nos fotodiodos do dispositivo ótico integrado OWL-10-WT, que são seletivos em comprimento de onda.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. O dispositivo OWL-10-WT

Algumas das aplicações do dispositivo ótico integrado são a verificação de estabilidade de fontes óticas para comunicação e realimentação de laser sintonizável. Para a unidade de medição proposta, o objetivo é interrogar uma FBG sujeita à variação de temperatura ou deformação mecânica.

Uma representação dos componentes principais do dispositivo ótico integrado é mostrada na figura 1. O feixe luminoso proveniente da fibra ótica passa por uma lente de colimação, a qual mantém o feixe estreito, para ser aplicado a um filtro interferométrico. Esse filtro também é conhecido como divisor de feixe (beam-splitter). No caso do dispositivo OWL-10-WT, essa razão de divisão é proporcional, ou seja, o feixe luminoso é dividido igualmente para ambos os fotodiodos, denotados por PD1 e PD2. É possível monitorar a temperatura do dispositivo através do sensor de temperatura integrado, LM35DZ, compensando flutuações térmicas.

O diferencial do dispositivo é a capacidade de integrar a característica de seletividade em comprimento de onda no seu fotodiodo, além de se apresentar num encapsulamento pequeno, o que o torna robusto frente à variação de temperatura ambiente. Esse conjunto de características melhora a técnica de referência utilizada, na qual não era possível garantir que a luz refletida pelas redes fosse distribuída de forma igual aos dois fotodiodos. Pois, para

cada fotodiodo existirá um caminho ótico, geralmente fibras óticas. Nesse caso poder-se-ia atenuar ou privilegiar o sinal ótico entregue a um dos fotodiodos, o que não é desejado.

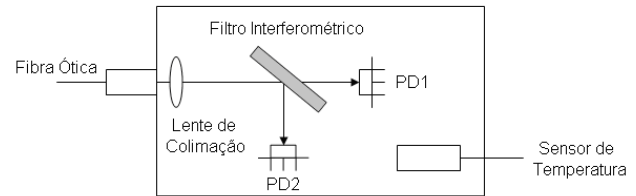


Figura 01: Construção básica do dispositivo OWL-10-WT.

### 2.2. Característica do sensor

A configuração do sistema de detecção é ilustrada na figura 02-a. A FBG é iluminada pela fonte ótica ASE através do circulador ótico. O espectro da fonte ótica é mostrado na figura 02-b. Grande parte do sinal ótico passa através da FBG e propaga-se até o término da fibra observado na figura 02-c, com detalhe no canto superior direito relativo à rejeição da FBG. A luz refletida pela rede figura 02-d é conduzida através do circulador ótico até o dispositivo OWL-10-WT.

O feixe é dividido como enunciado na seção 2.1 e cada parte incide sobre um fotodiodo distinto produzindo uma resposta em tensão diferente. A razão entre as tensões é única e é associada ao pico do sinal ótico referente ao espectro da FBG figura 02-d. A razão entre as tensões de cada fotodiodo é feita pelo circuito eletrônico, que tem a saída adquirida num osciloscópio (Tektronix TDS210). Isso torna o sistema imune a variações de potência ótica da fonte, pois a razão mantém-se constante.

A FBG utilizada possui as seguintes características: pico do sinal ótico  $\lambda_B = 1544,88 \text{ nm}$  mostrado na figura 02-d e dimensões de 2mm de comprimento e 125  $\mu\text{m}$  de diâmetro.

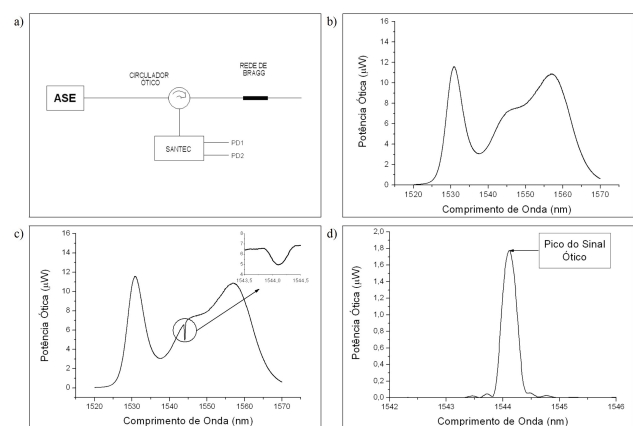


Figura 02: a) configuração do sistema de medição; b) espectro da fonte ótica (ASE); c) sinal transmitido; d) espectro da FBG (indicando o pico do sinal ótico).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Características em temperatura

Para a FBG utilizada o sistema apresentou, em média, uma sensibilidade na saída do divisor no circuito eletrônico de 8,68 mV/°C. Comparativamente, um termopar tipo-K apresenta sensibilidade de 41 μV/°C. Assim, a unidade de medição pode ter suas saídas adquiridas com um sistema de menor precisão, sem que isso prejudique a aferição da temperatura.

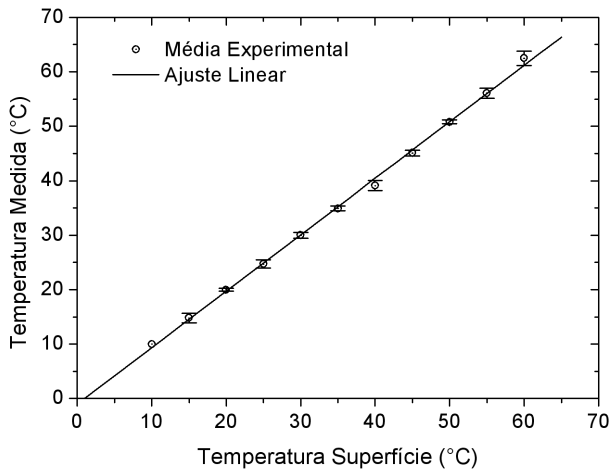


Figura 03: Medição de Temperatura.

Porém, verificou-se que o coeficiente não é constante ao longo de toda faixa passível de utilização. Ele pode ser considerado constante e determinado para um intervalo de 100 °C. O dispositivo ótico integrado permite uma medição num intervalo de aproximadamente 600 °C.

Na figura 03 são indicados as médias relativas a quatro experimentos utilizando a unidade de medição, como referência para a temperatura da superfície foi utilizado um termômetro digital. A incerteza é calculada como a variação máxima observada em torno dos valores médios. O primeiro valor relativo à temperatura 10°C apresenta variação nula, pois deve-se indicar à unidade de medição ao menos uma temperatura de referência. O coeficiente de correlação calculado foi 0,999 e a inclinação da reta é 1,036 – 0,014.

#### 3.1. Características frente à deformação

O coeficiente encontrado para a calibração utilizando-se a FBG apresentada na seção 2.2 na saída do divisor no circuito eletrônico foi de 764 μV/με. Salienta-se que 1 με é igual a uma deformação de 1x10<sup>-6</sup> m em 1 m. Semelhante ao coeficiente de temperatura, o coeficiente de deformação também não é constante ao longo da faixa passível de utilização. Mas, dentro de um intervalo de 1000 με ele pode ser considerado constante.

Na figura 04 são indicadas as médias relativas a quatro experimentos utilizando a unidade de medição, como referência para a deformação longitudinal foi utilizado um relógio comparador. A incerteza é calculada como a

variação máxima observada em torno dos valores médios. O coeficiente de correlação calculado foi 0,999 e a inclinação da reta é 0,904 0,01. Evidenciando uma não linearidade, pois se utilizou um intervalo maior que 1000 με.

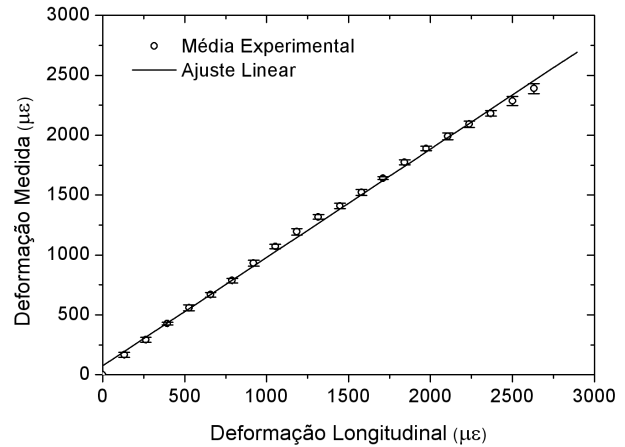


Figura 04: Medição da deformação.

A unidade de medição apresenta grande vantagem em relação a deformações dinâmicas. Para o experimento dinâmico a FBG foi colada sobre uma régua metálica engastada, próximo ao ponto fixo. Utilizando-se de um martelo foi aplicado um pequeno impulso na parte livre da régua. Esse procedimento leva a régua a uma oscilação naturalmente amortecida. O resultado do experimento é ilustrado na figura 05.

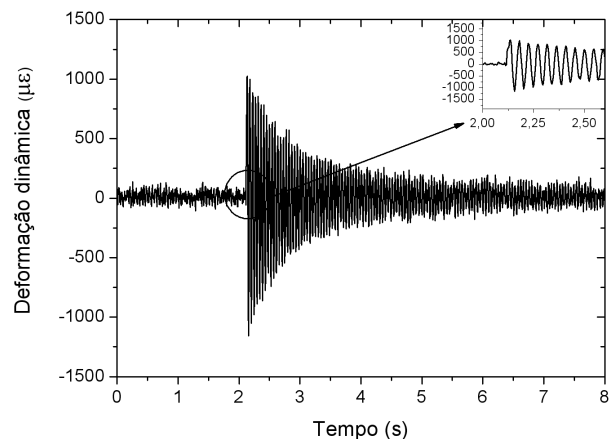


Figura 05: Deformação dinâmica, a oscilação no detalhe no canto superior direito e o amortecimento na característica do sinal diminuir ao longo do tempo.

No experimento de deformações dinâmicas não se utilizou outro sistema de medição para se estabelecer uma comparação de resultados. Poder-se-ia adotar o mesmo procedimento do trabalho proposto por Martteli et. al. (2004) no qual empregou-se um extensômetro elétrico para a comparação. Contudo, admite-se que o erro deva ser próximo ao apresentado na deformação estática. A frequência natural de oscilação da régua ficou próxima de 21,85 Hz.

#### 4. CONCLUSÕES

A unidade de medição, mesmo utilizada dentro de uma pequena faixa, demonstrou ser capaz de interrogar uma rede de Bragg com um erro de medida satisfatório. Os erros são devidos, em sua grande maioria, à utilização de um coeficiente único. Poder-se-ia reduzir o erro, utilizando um sistema digital que possibilitaria a utilização de uma equação de calibração não-linear para ajustar os melhores valores.

O aspecto que se deve ressaltar é a capacidade de medição de deformações dinâmicas. Com a configuração atual pode-se medir oscilações de até 300 Hz. Sistemas mais precisos por exemplo um analisador de espectro ótico perdem essa capacidade, e é nesse aspecto que a unidade de medição demonstra seu diferencial. Por isso, destaca-se como aplicação principal, para a unidade de medição, a monitoração de estruturas civis como, por exemplo, pontes e monitoração de máquinas elétricas e transformadores em plantas industriais.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e ao PIBIC, pela concessão das bolsas, à fundação Araucária pelo suporte ao laboratório. A rede

utilizada neste trabalho foi gravada no Núcleo de Dispositivos Foto-Refrativos da UTFPR campus Curitiba.

#### 6. REFERÊNCIAS

- Davis, M. A.; Kersey, A. D. All fiber Bragg grating strain sensor demodulation technique using a wavelength division coupler. *Electronics Letters*, vol. 30, p. 75, 1994.
- FRADEN, J. *Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs and Applications*. Third Edition. New York: Springer-Verlag, 2003.
- HILL, K. O.; FUJII, Y.; JOHNSON, D. C.; KAWASAKI, B. S. Photosensitivity in optical fiber waveguides: Application to reflection fiber fabrication. *Applied Physics Letters*, v. 32, p. 647-649, 1978.
- Martelli, C.; Silva, J. C. C.; Novaes, P. J. D.; Kalinowski, H. J. Sistema de Leitura de Redes de Bragg para Medidas Estáticas e Dinâmicas. *Revista de Física Aplicada e Instrumentação*, v. 17, no. 1, p. 22-29, 2004
- MELTZ, G., MOREY, W. W., GLENN, W. H. Formation of Bragg gratings in optical fibers by a transverse holographic method. *Optics Letters*, v. 14, p. 823-825, 1989.
- Menadier, C.; Kissinger, C.; Adkins, H. The fotonic sensor. *Instruments and Control Systems*, vol. 40, p. 114, 1967.
- OTHONOS, A. Fiber Bragg gratings. *Review of Scientific Instruments*, vol. 68, p. 4309-4341, 1997.
- ZHAO, Y., LIAO, Y. Discrimination methods and demodulation techniques for fiber Bragg grating sensors. *Optic and Lasers in Engineering*, vol. 41, p. 1-18, 2004.