

Elaboração de sensores óticos utilizando redes de Bragg em fibras óticas

Elaboration of optical sensors using fiber Bragg grating

RESUMO

Este trabalho relata o desenvolvimento de um estudo de sensores óticos para medição simultânea do momento fletor em uma haste metálica - que foi engastada verticalmente em um canal de escoamento de seção reta retangular - e da temperatura, através da medição da variação do comprimento de onda de Bragg. O estudo parte da hipótese que conforme ocorre o escoamento, a força do fluido causará uma flexão na haste e a uma das faces sofrerá uma tração enquanto a face oposta sofrerá uma compressão. A utilização de um par de redes de Bragg nessas condições permite determinar o momento fletor que gera a deformação. Além disso, a técnica utilizada permite não apenas eliminar o efeito da temperatura, mas também quantificar esse parâmetro.

PALAVRAS-CHAVE: Sensores óticos. Momento fletor. Redes de Bragg.

ABSTRACT

This paper reports the development of optical sensors for simultaneous measurement of the bending moment on a metallic pole - which was vertically set in a rectangular cross-section flow channel - and the temperature, by measuring Bragg wavelength variation. The study starts from the hypothesis that as the flow occurs, the force of the fluid will cause a flexion in the rod and one of the faces will suffer a traction while the opposite face will suffer a compression. The use of a pair of Bragg nets in these conditions allows us to determine the bending moment that generates the deformation. Besides that, the technique used allows not only to eliminate the effect of temperature, but also to quantify this parameter.

KEYWORDS: Optical sensors. Bending moment. Fiber Bragg grating.

Sarah Carminati Jeronymo
sarahi@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Ricardo Canute Kamikawachi
canute@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Diego Fernandes
diegofernandes.mdf@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autorial: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

As redes de Bragg em fibras óticas (FGB - *Fiber Bragg Grating*) são uma modulação periódica do índice de refração do núcleo da fibra descobertas por Hill e colaboradores em 1978 (HILL *et al.*, 1978). Desde a sua descoberta, este dispositivo tem sido aplicado como elemento transdutor para parâmetros físicos como temperatura e deformações mecânicas (CHEN E ZHANG, 2011). As principais características que tornaram as FBGs interessantes para essas aplicações são o tamanho e peso reduzidos, a codificação em comprimento de onda e a alta capacidade de multiplexação podendo ter dezenas de sensores em um único enlace ótico (KASHYAP, 1999).

Quando a radiação que se propaga ao núcleo incide na FBG uma pequena parcela é refletida em um comprimento de onda específico chamado de comprimento de onda de Bragg:

$$\lambda_B = 2n_{eff}\Lambda \quad (1)$$

onde λ_B é o comprimento de onda de Bragg, n_{eff} é o índice efetivo do modo guiado e Λ é o período da rede.

O comprimento de onda de Bragg também pode ser alterado devido a variações de temperatura e deformações mecânicas. Essa característica pode ser expressa por:

$$\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B} = (1 - \rho)\epsilon + (\alpha + \xi)\Delta T \quad (2)$$

onde $\Delta\lambda_B$ é a variação do comprimento de onda de Bragg, λ_B é o comprimento de onda de Bragg em condições iniciais, ρ é a constante elasto-ótica, ϵ é a deformação longitudinal, α é o coeficiente de expansão térmica, ξ é o coeficiente termo-ótico, ΔT é a variação de temperatura.

O sistema proposto consiste de uma haste de alumínio de seção reta retangular que será engastada verticalmente em um canal de escoamento também de seção reta retangular. Conforme ocorre o escoamento, a força do fluido irá causar uma flexão na haste e a uma das faces sofrerá uma tração enquanto a face oposta sofrerá uma compressão. A análise dessas deformações pode ser feita a partir do momento fletor \vec{M} , ao qual a haste estará sujeita, é definido como:

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F} \quad (3)$$

onde \vec{r} é o vetor da origem (no engaste) até o ponto da aplicação da força \vec{F} (região onde o sensor está colado).

A maioria dos materiais de engenharia apresentam uma relação linear entre a tensão e a deformação na região de elasticidade. Assim, um aumento na tensão provoca um aumento proporcional na deformação ϵ_{def} . Esse fato foi descoberto por Robert Hooke em 1676, Lei de Hooke, e é matematicamente expresso pela equação (4):

$$\sigma = E \cdot \epsilon_{def} \quad (4)$$

onde E é o módulo de Young.

A força cortante é obtida através da integração da força da água distribuída ao longo da barra devido ao escoamento. Essa força cortante é dependente da posição do eixo, em que a força da água é aplicada. O momento fletor será então calculado como a integração da força cortante ao longo da haste. Desta forma, conhecendo o momento de inércia da haste é possível calcular o quanto cada região é deformada de acordo com a geometria de sua seção transversal (HIBBELER, 2019). Neste contexto a determinação do momento fletor é o passo inicial no desenvolvimento do sistema.

As redes de Bragg serão fixadas em cada uma das faces de modo que irão detectar essas deformações. Como essas deformações são proporcionais, para uma dada deformação a tração resultará em um $\Delta\lambda$ positivo e a compressão resultará um deslocamento de mesma magnitude, contudo negativo. Se houver variações de temperatura as redes fixadas em ambas as faces irão sofrer o mesmo deslocamento. Como resultado, a subtração dos deslocamentos das redes em faces opostas será proporcional apenas a deformação mecânica e a soma será proporcional à temperatura.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dos experimentos, dez trechos de fibras óticas de um metro de comprimento passaram por um processo de hidrogenação, a fim de aumentar a fotossensibilidade e otimizar o processo de gravação das redes de Bragg. Em seguida, as fibras foram limpas com álcool isopropílico e utilizou-se uma máquina de fusão para conectar cada parte da fibra a um cordão ótico, que é utilizado para conectar a fibra aos equipamentos de leitura do sinal.

A gravação das redes de Bragg foi realizada, através de uma máscara de fase, em fibras óticas monomodo que atuam em comprimentos de ondas de 1500 a 1600nm. Em cada parte de um metro de fibra, foram gravadas três FBGs, de forma que cada trecho ficassem com aproximadamente 30 cm. A fim de eliminar as prováveis variações em comprimento de onda por efeito da hidrogenação das fibras, cada uma das FBGs foram inseridas em um forno a, aproximadamente, 100°C por cerca de duas horas.

Para observar os resultados das variações de comprimento de onda, foi utilizado um interrogador de sensores óticos (Micron Optics SM130), interligado à fibra através do cordão ótico. O interrogador possui um software próprio para análise e processamento de informações de espectros e picos de potência refletida em função do comprimento de onda, com uma taxa de aquisição de 1kHz.

Em seguida, 4 FBGs foram coladas na haste de alumínio, aos pares, de modo que um par fique sensível à tração e outro à compressão. Após engastada dentro do canal retangular, cada parcela da haste estará sujeita à deformação mecânica e variações de temperatura, além de possíveis vibrações ou colisões com pequenos objetos e pedras.

Para avaliar a resposta do sistema ao momento fletor, a haste foi fixada e engastada na horizontal e uma massa de 1000 g foi fixada ao longo do seu comprimento, causando a flexão da haste devido a força da gravidade. A massa foi fixada em posições que variavam de 0,10 até 0,90 m do ponto de engaste, em passos de 0,05 m.

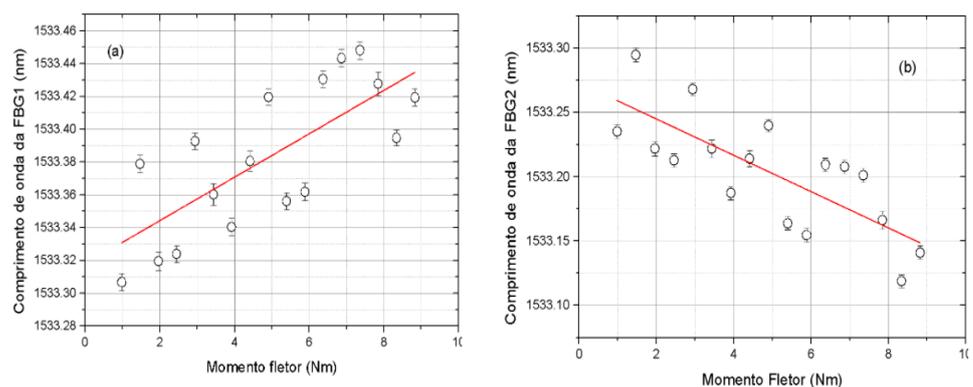
As forças aplicadas resultaram em momentos fletores variando 0,981 Nm até 8,829 Nm. Foi desconsiderado o peso próprio da haste, sendo esse inserido como condição inicial e analisando apenas as variações em momento fletor. Foram feitos cinco ensaios em cada ponto, respeitando a repetibilidade, onde a distância foi aumentada e depois reduzida. O sistema de interrogação monitorou cada evento com uma frequência de 1kHz durante dois minutos em cada ponto analisado.

O sistema também foi caracterizado termicamente para determinar a sua sensibilidade à temperatura. Para isso a haste com as redes foi inserida em um banho termostático e submetidas a uma variação de temperatura na faixa de 15 a 55°C, em passos de 5°C.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura 1 mostra o comprimento de onda em função do momento fletor do par FBG1 e FBG2, a reta em vermelho é o resultado de um ajuste linear.

Figura 1: Variação do comprimento de onda de FBG1 (a) e FBG2 (b) medidos em função do momento fletor.

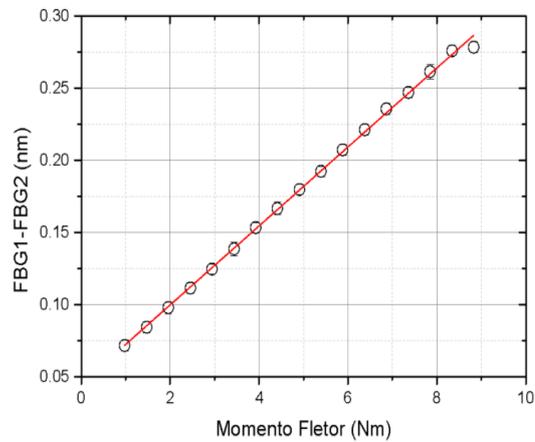


Fonte: autoria própria (2020).

As sensibilidades das redes à variação do momento fletor apresentam magnitudes iguais dentro das incertezas experimentais mais inclinações opostas devido ao fato de uma estar sujeita a tração e outra a compressão. As redes foram gravadas no mesmo comprimento de onda de Bragg.

É possível notar que há uma grande dispersão entre os pontos, possivelmente causados devido a variação da temperatura. Desta forma a subtração dos comprimentos de onda remove esses efeitos como discutido anteriormente. A figura 2 mostra o resultado da subtração dos comprimentos de onda. Pode-se notar que a dispersão foi reduzida e a diferença em comprimento de onda apresentou um comportamento linear com uma sensibilidade de $(27,4 \pm 0,3)$ nm/Nm.

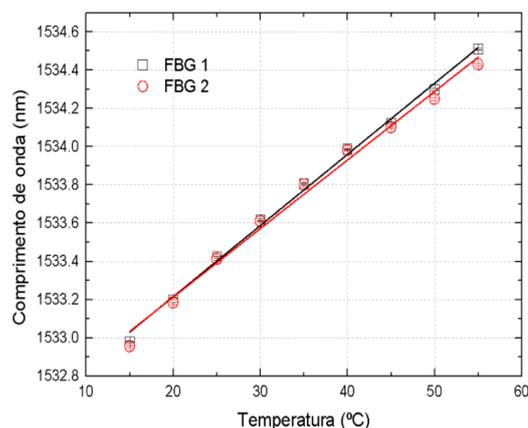
Figura 2: Comprimento de onda de FBG1-FBG2 em função do momento fletor, após a correção do efeito térmico.



Fonte: autoria própria (2020).

A figura 3 mostra os resultados da caracterização térmica das FBGs 1 e 2. As retas representam ajustes lineares realizados para obter as sensibilidades térmicas. Os valores de sensibilidade obtidos foram (37 ± 1) pm/°C e (36 ± 1) pm/°C, essas sensibilidades são quase 4 vezes maior que as sensibilidades típicas das FBGs, entorno de 10 pm/°C. Esse aumento se deve ao fato das redes estarem coladas na haste de alumínio que sofre expansão térmica, essa deformação longitudinal contribui para o deslocamento em comprimento de onda. Esse aumento na sensibilidade térmica é provavelmente o responsável pela grande dispersão observada na figura 1.

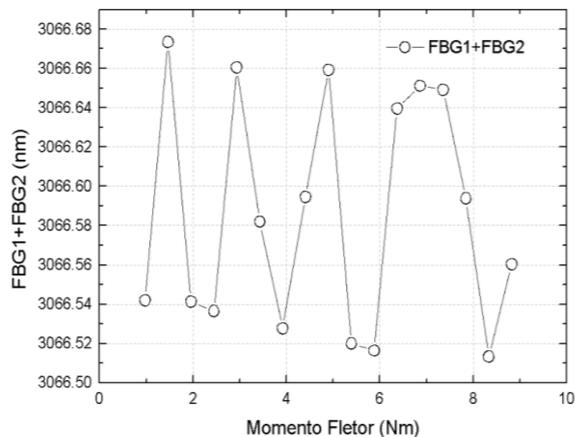
Figura 3: Resposta das FBGs 1 e 2 à variação de temperatura medida em um banho termostático.



Fonte: autoria própria (2020).

A figura 4 mostra a soma dos comprimentos de onda das FBGs 1 e 2 que, de acordo com a análise anterior, é resultado apenas da variação de temperatura. Esses resultados indicam que durante as medidas da resposta do sistema ao momento fletor, houve uma oscilação na temperatura ambiente.

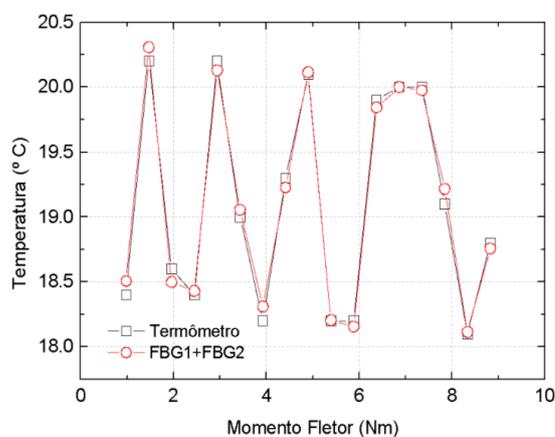
Figura 4: Soma das respostas das FBGs 1 e 2 sujeitas à variação do momento fletor.



Fonte: autoria própria (2020).

Com as sensibilidades térmicas determinadas no ensaio de temperatura é possível converter os resultados de comprimento de onda apresentados na figura 4 para temperatura. Dessa forma, é possível comparar a variação de temperatura medida com o termômetro com a temperatura determinada pela soma dos comprimentos de onda. Esses resultados são apresentados na figura 5.

Figura 5: Variação de temperatura calculada no ensaio da resposta ao momento fletor através dos comprimentos de onda e medida com o termômetro.



Fonte: autoria própria (2020).

Os resultados mostram excelente concordância entre as temperaturas medidas com o termômetro e aquelas determinadas pela soma dos comprimentos de onda.

CONCLUSÃO

Os resultados apresentados neste trabalho mostram que a utilização de um par de redes de Bragg em faces oposta de uma haste que sofre uma flexão permite determinar o momento fletor que gera a deformação. A técnica utilizada permite não apenas eliminar o efeito da temperatura, mas também quantificar esse parâmetro. Estes resultados são importantes pois o uso de pares de FBGs podem permitir a determinação da velocidade média de escoamento, o nível da água e a

temperatura. Para determinar um parâmetro adicional como o nível, pode-se adicionar mais um par de redes, obtendo assim um sistema de duas equações e duas variáveis.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à UTFPR pelas estruturas físicas dos laboratórios utilizados no decorrer do trabalho e pela bolsa de iniciação científica, em especial ao Laboratório Multiusuários de Fotônica – MULTI_FOTON.

REFERÊNCIAS

CHEN, J.; LIU, B.; ZHANG, H. **Review of fiber Bragg grating sensor technology.** Front. Optoelectron. China, v. 4, p. 204–212, 2011.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos materiais.** 10. ed. ed. [s.1] Pearson Education do Brasil, 2019.

HILL, K.O.; FUJII, Y.; JOHNSON, D. C.; KAWASAKI, B. S. Photosensitivity in optical fiber waveguides - application to reflection filter fabrication. **Applied Physics Letters**, v. 32, n. 10, p. 647-649, 1978.

KASHYAP, R.. **Fiber Bragg Gratings**, Academic press, 1999.