

Sensor de Deformação Usando Grades de Bragg

Rogério Moreira Cazo*, Haroldo T. Hattori*, Carmem L. Barbosa**, Osni Lisbôa**,
e Renato Cunha Rabelo**

*Divisão de Eletrônica- ITA-CTA. **Divisão de Fotônica- IEAv -CTA

Resumo - Grades de Bragg em fibras ópticas encontram várias aplicações em telecomunicações e sensores a fibra óptica. Neste trabalho, analisamos o desempenho de grades de Bragg atuando como sensores de deformação. A deformação é determinada a partir da medida do deslocamento do comprimento de onda de Bragg. Este deslocamento é facilmente medido com um analisador de espectro óptico, tornando as grades de Bragg atrativas como sensores de deformação.

Palavras-chaves : Fibras ópticas, grades de Bragg, Sensores a fibra óptica.

I. INTRODUÇÃO

Desde o surgimento de grades de Bragg em fibras ópticas, observou-se que elas seriam excelentes sensores de grandezas físicas estáticas e dinâmicas, tais como temperatura, deformação e pressão [1]. A grande vantagem é que a informação a ser medida está contida no comprimento de onda, portanto fazendo com que o sensor seja auto referenciável, tornando-o independente de flutuações da luz, e imune a perdas entre o sensor e a fonte óptica que atrapalham o desempenho de sensores a fibra óptica. A baixa perda de inserção e pequena largura de faixa permitem a fácil multiplexação de sensores a grades de Bragg, através de técnicas como multiplexação em comprimento de onda, no domínio do tempo e espacialmente.

A grade de Bragg tem uma resposta bastante linear em relação à deformação aplicada, em contraste com muitos sensores elétricos. Além disso, grades de Bragg possuem as vantagens de fibras ópticas como imunidade a interferência eletromagnética, baixo peso, pequenas dimensões, estabilidade, resistência a radiação, etc. Como as dimensões da grade são pequenas, as grades de Bragg funcionam como sensores pontuais, e se encaixam facilmente nas estruturas cujas características desejam-se medir. Por tudo isso, as grades de Bragg são aplicáveis em estruturas inteligentes, permitindo a construção de uma rede sensora para o controle de uma estrutura qualquer. Por exemplo, sensores de deformação a grades de Bragg foram usados em uma ponte em Las Cruces, Novo México, para monitorar as condições desta ponte [2].

Neste artigo, fez-se as medidas da variação do comprimento de onda de Bragg da grade em função da aplicação de uma deformação estática. Notou-se uma grande linearidade entre a variação do comprimento

de onda e a aplicação da deformação, além de uma grande estabilidade do sensor. A teoria utilizada na análise de sensores a grade de Bragg concordou bastante com os resultados práticos, mostrando a validade dos experimentos realizados. Por tudo isso, acredita-se que sensores de deformação baseados em grades de Bragg serão de grande interesse em aplicações aeroespaciais.

II. ANÁLISE DA DEFORMAÇÃO DE UMA GRADE DE BRAGG

De acordo com a Lei de Bragg, o comprimento de onda do pico da reflexão de uma grade de Bragg (λ_B) será dado por:

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

onde n_{eff} é o índice de refração efetivo do núcleo e Λ é o período de modulação do índice de refração. Tanto Λ quanto n_{eff} , porém, podem variar, de acordo com os estímulos que a grade receber, levando o comprimento de onda λ_B a variar, também. Assim sendo a grade de Bragg poderá atuar como elemento sensor de qualquer estímulo que varie n_{eff} ou Λ , como a temperatura, a tração ou mesmo campos magnéticos dinâmicos. Tais estímulos irão variar o comprimento de onda λ_B que, sendo monitorado, irá nos fornecer a intensidade de tais estímulos. A seguir, partiremos para a análise de um sensor de deformação utilizando grades de Bragg.

Define-se deformação por:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (2)$$

sendo ΔL é a variação do comprimento da fibra, e L o comprimento total da fibra antes da deformação. A alongação de uma fibra contendo uma grade de Bragg irá variar Λ proporcionalmente à deformação que a fibra foi submetida. Além do mais, por efeito fotoelástico, tem-se uma variação do índice de refração, também proporcional à deformação.

Considerando-se todos esses fatores, a expressão para a variação do comprimento de onda de Bragg (λ_B) em função da deformação é dada pela expressão:

$$\Delta \lambda_B = 2 \left(\Lambda \frac{\partial n_{eff}}{\partial l} + n_{eff} \frac{\partial \Lambda}{\partial l} \right) \Delta l \quad (3)$$

Neste trabalho o interesse está focado na variação do comprimento de onda de Bragg devido à deformação sofrida pela fibra (expressão 4). Portanto, a temperatura será suposta aproximadamente constante. A expressão (3) pode ser escrita como:

$$\Delta\lambda_B = \lambda_B(1 - p_e)\epsilon_z \quad (4)$$

onde p_e é uma constante óptico-mecânica definida por:

$$p_e = \frac{n_{eff}^2}{2} [p_{12} - \nu(p_{11} + p_{12})] \quad (5)$$

sendo que p_{11} e p_{12} são componentes do tensor óptico-mecânico, e ν é a razão de Poisson. Para uma fibra óptica de germano-silicato, $p_{11} = 0,133$, $p_{12} = 0,252$, $\nu = 0,16$, e $n_{eff} = 1,482$ [3].

III. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

O objetivo deste trabalho é observar experimentalmente o comportamento do comprimento de onda de Bragg de uma grade inscrita em uma fibra óptica quando esta é submetida a uma deformação no sentido longitudinal (em suma, vai-se esticar ou comprimir a fibra). Assim, será validada a teoria de grades de Bragg, fornecendo o embasamento necessário para que os estudos sobre aplicações de grades de Bragg em sistemas mais complexos possam prosseguir.

Para tanto, foi realizada uma montagem (vide Fig. 1) em que uma fibra contendo uma grade de Bragg foi esticada sobre dois suportes, sendo um fixo e outro móvel e conectado a um motor de passo. Um dos terminais da fibra estava casado, e o outro ligado a um acoplador direcional, o qual foi utilizado em conjunto com um LED e um analisador de espectro óptico para monitorar o comprimento de onda de Bragg da grade. Tais ligações são representadas de forma mais esquemática na Fig. 2, e o perfil do espectro da potência refletida pela grade de Bragg utilizada encontra-se na Fig. 3. O espectro de potência do LED é aproximadamente gaussiano e de cerca de 60nm, enquanto a largura de faixa da grade de Bragg é cerca de 0.4nm, de forma que a grade de Bragg filtra consideravelmente o sinal do LED.

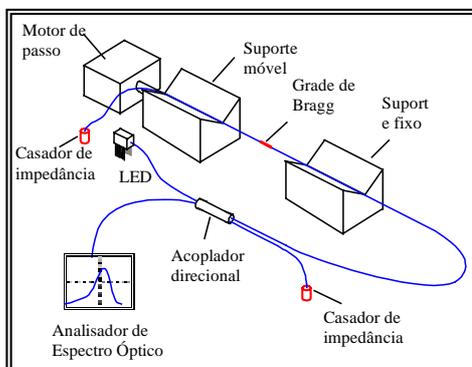


Figura 1. Montagem realizada para análise do comportamento do comprimento de onda de Bragg (λ_B) em função da deformação da fibra.

O procedimento experimental adotado foi medir-se o comprimento de onda do sinal refletido (braço 2 da Fig. 2), variando-se o comprimento total da fibra óptica através do motor de passo. Assim, partindo-se de uma condição inicial considerada sem deformação (fibra com uma leve tensão, para se evitarem folgas), variou-se o comprimento total da fibra em 200 μ m, em passos de 20 μ m. Seu comprimento inicial total era de 12,445cm.

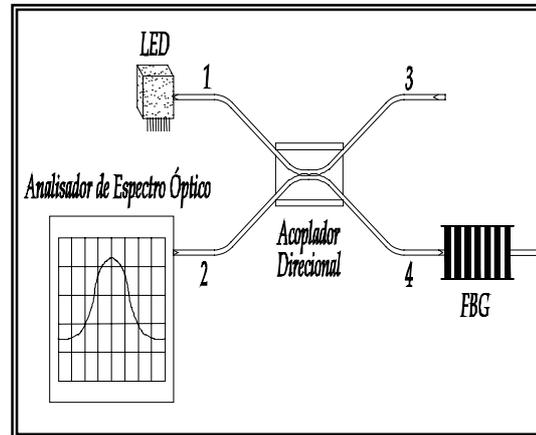


Figura 2. Representação esquemática da montagem da Figura 1.

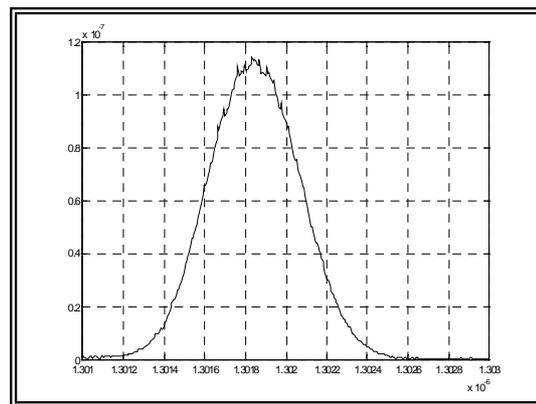


Figura 3. Perfil do espectro da potência refletida pela grade de Bragg utilizada.

Foram realizadas onze aquisições do espectro de potência óptica refletida pela grade de Bragg, uma para cada ponto da deformação da fibra. Plotando-se o ponto de máxima de cada uma dessas curvas em função da deformação imposta obtém-se a curva da Fig. 4.

Nesta Figura, a curva tracejada representa a variação ideal, e a contínua, a medida. Observa-se uma grande linearidade para essa curva, conforme esperado. A curva ideal possui coeficiente angular igual 8,273pm/ μ m, enquanto que a curva real possui coeficiente angular 7,964pm/ μ m, no comprimento de onda 1301.834 μ m. Esta pequena discrepância se deve ao fato da fibra não ser perfeitamente elástica, há outros materiais envolvidos na fabricação da fibra que

não são sílica pura, etc. Entretanto, houve uma boa concordância entre a teoria e os valores medidos.

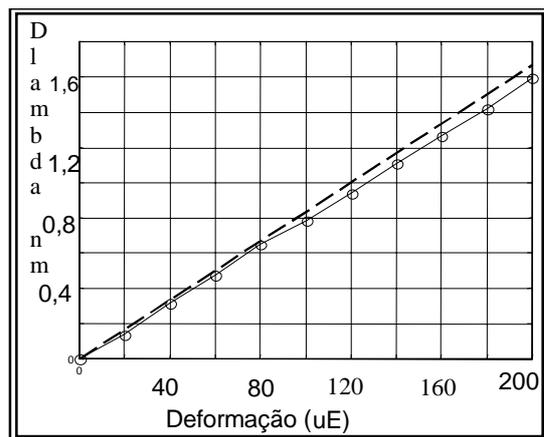


Figura 4. Variação do comprimento de onda em função da deformação imposta para o sistema da Figura 1.

IV. CONCLUSÕES

Este trabalho descreveu os procedimentos utilizados para se caracterizar um sensor de deformação à grade de Bragg. Os resultados práticos se aproximaram bastante dos valores teóricos, com uma pequena discrepância que pode ser atribuída a erros de leitura no analisador de espectro óptico, ao fato da fibra não ser perfeitamente elástica e de sílica pura, etc. Apesar da pequena discrepância, a linearidade da variação do comprimento de onda de Bragg em função da deformação aplicada, além da boa concordância entre os valores práticos e teóricos, torna a grade de Bragg bastante atrativa como sensor de deformação. Além disso, a não dependência dos valores encontrados com a variação da potência luminosa da fonte, perdas na fibra, etc. tornam este sensor bem estável em suas medidas.

REFERÊNCIAS

- [1] A. D. Kersey, M. A. Davis, H. J. Patrick, M. LeBlanc, K. P. Koo, C. G. Askins, M. A. Putnam, and E. J. Friebele, "Fiber Grating Sensors," *Journal of Lightwave Technology*, vol. 15, pp. 1442-1463, 1997.
- [2] E. J. Friebele, "Fiber Bragg Grating Strain Sensors: Present and Future Applications in Smart Structures," *Optics and Photonics News*, pp. 33-39, August 1998.
- [3] A. Othonos and K. Kalli, *Fiber Bragg Gratings: Fundamentals and Applications in Telecommunications and Sensing*, Artech House, Boston, 1999.

lisboao@ieav.cta.br

Rogério Moreira Cazo nasceu em São Paulo, SP,

Brasil em 05 de março de 1976. Ele concluiu o curso técnico em eletrônica na Escola Técnica Federal de São Paulo em 1995, e se graduou em engenharia

eletrônica no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) em 2000. O seu trabalho de graduação consistiu na análise de sensores de deformação e temperatura baseados em grades de Bragg em fibras ópticas. Este trabalho foi considerado o melhor trabalho de graduação da Divisão de Eletrônica do ITA do ano 2000.

Em 2000, ele se juntou à Divisão de Fotônica do Instituto de Estudos Avançados do Centro Técnico Aeroespacial (IEAv-CTA). Suas áreas de interesse incluem grades de Bragg em fibras ópticas, optoeletrônica, sensores a fibra óptica, estruturas com photonic bandgap e projeto de circuitos digitais.

Haroldo Takashi Hattori nasceu em São José dos Campos, SP, Brasil a 22 de outubro de 1965. Ele se graduou em engenharia eletrônica no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) (com menções honrosas) em 1988 e recebeu o título de mestre em ciência em engenharia eletrônica em 1993, também pelo ITA. Em 1998, ele obteve o grau de doutor em engenharia elétrica pela Virginia Polytechnic Institute and State University (Blacksburg VA, USA). Sua dissertação analisava fibras ópticas multi-camadas para reduzir os efeitos de dispersão e não-linearidades ópticas.

Em 1989 ele se juntou à Alcatel (Brasil e Espanha), onde ele trabalhou no desenvolvimento de sistemas de comunicações ópticas operando de 2 a 560 Mb/s. Em 1994, ele saiu da Alcatel para o curso de doutorado em engenharia elétrica na Virginia Tech. Desde 1998, ele está trabalhando no ITA, onde é professor adjunto. Seus principais interesses são em grades de Bragg em fibras ópticas, projeto de fibras ópticas, óptica integrada, processamento de sinais, materiais com photonic bandgap, e comunicações ópticas. Ele possui cerca de 10 publicações em revistas internacionais indexadas e 17 publicações em congressos nacionais e internacionais, além de ser o gerente do projeto da FAPESP de grades de Bragg. Dr. Hattori é membro das Sociedades Honoríficas Phi Kappa Phi e Eta Kappa Nu, além de ser membro da Optical Society of America.

haroldo@ele.ita.cta.br, 55-12-3476819

Carmem L. Barbosa – Dados Biográficos do autor não disponíveis até a data da publicação.

Osni Lisbôa nasceu em São Paulo, SP, Brasil a 17 de fevereiro de 1957. Ele concluiu o Curso para Oficiais da Aeronáutica em 1979 (Curso de Formação de Oficiais Intendentes da Academia da Força Aérea - CFOInt/AFA); graduou-se em Ciência da Computação em 1983 (Curso Superior de Tecnologia de Computação no Instituto Tecnológico de Aeronáutica - CSTC/ITA); graduou-se em Engenharia Eletrônica

em 1988 e recebeu o título de Mestre em Ciência em Engenharia Eletrônica em 1990, ambos no ITA. Em 1995, ele obteve o Título de Doutor em Filosofia (Engenharia Elétrica) pela *McGill University* (*Montreal*, Canadá). Sua dissertação analisava sensores em fibra óptica para aplicação em estruturas mecânicas. Desde 1982 ele está lotado ao Centro Técnico Aeroespacial (CTA), em São José dos Campos, SP. Atualmente ele é o Vice-diretor do Instituto de Estudos Avançados (IEAv/CTA) e sua Patente é Tenente-Coronel. Seus principais interesses são em sensores a fibra óptica (principalmente rotação, temperatura e deformação mecânica - distribuídos e/ou localizados - , utilizando efeito *Sagnac*, efeitos não-lineares, , redes de *Bragg*, etc.) e processamento de sinais. Ele possui cerca de 11 publicações em revistas internacionais indexadas e 19 publicações em congressos nacionais e internacionais.

Renato Cunha Rabelo nasceu em Brasília, em novembro de 1969. Graduiu-se Engenheiro Eletrônico pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) em dezembro de 1992. Graduiu-se Mestre em Ciências, área de Microondas e Eletroóptica, também pelo ITA, em dezembro de 1998. Trabalha com experimentos em fotônica desde 1990 quando começou a estagiar no Instituto de Estudos Avançados (IEAv/CTA) como aluno de graduação, realizando estudos em dispositivos de Óptica não-linear. Após o período que seguiu de sua graduação até 1996, em que trabalhou como Engenheiro de manutenção de equipamentos RADAR e de tratamento e visualização de imagens RADAR, voltou a trabalhar com fotônica, mais especificamente na área de sensores a fibra óptica.

Seus interesses de pesquisa se concentram em Sensores a Fibra Óptica, fabricação e utilização de Grades de Bragg em fibras ópticas, Óptica Integrada, Dispositivos eletroópticos e não-lineares em óptica guiada, bem como processamento de sinais para dispositivos ópticos interferométricos.