

Redes de Período Longo para Determinação de Contaminantes na Água

R. Falate, J. L. Fabris, H. J. Kalinowski and M. Müller
Laboratório de Inovação em Tecnologia de Sensores
Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, 80230-901 Curitiba, Brasil
e-mail: rfalate@cefetpr.br <http://www.cpgei.cefetpr.br/~loop/>

Summary. *This summary proposes an application of long period grating to monitor the quality of water resources. Gratings produced with electrical discharge are sensible to environment changes like the presence of contaminants in water. The sensor has an average sensitivity (in the refractive-index resolution) of 0.0139 (nm)^{-1} within the 1.333-1.430 index range.*

Keywords: long period grating, refractive index, water pollution
Subject category: 3 (physical sensors)/ 4 (chemical sensors)

Introdução

A água é essencial para a vida, constituindo o elemento base para a sobrevivência dos seres vivos. No entanto, despejos industriais e domésticos continuam ocorrendo, poluindo mares, rios e oceanos. A conscientização das empresas e pessoas é o grande contribuinte para que problemas envolvendo água e agentes contaminantes não aconteçam ou ocorram em menores proporções. Enquanto isso não acontece, métodos para a detecção de alguns desses agentes, principalmente com o intuito de prevenção, estão sendo propostos.

Em 2001, BUERCK *et al* fizeram o uso de fibra ótica para a determinar compostos derivados de petróleo na água utilizando o campo evanescente da fibra para avaliar as alterações na composição da água [1]. No entanto, este método de medida possui algumas desvantagens como, por exemplo, aumento da fragilidade da fibra, uma vez que é necessária a corrosão da casca para se chegar ao campo evanescente.

Neste trabalho propomos o uso de redes de período longo, produzidas através da aplicação periódica ponto-a-ponto de um arco elétrico em fibras monomodo padrão, para a detecção de agentes contaminantes na água.

Princípio de funcionamento

As redes de período longo (LPG) são dispositivos sensores em fibra ótica formados por perturbações periódicas no núcleo da mesma [2]. Sua operação é baseada no acoplamento entre o modo no núcleo e os modos de casca co-propagantes e é dada pela seguinte expressão [2]:

$$\beta_{co} - \beta_{cl}^m = \frac{2\pi}{\Lambda} \quad (1)$$

onde β_{co} e β_{cl}^m são as constantes de propagação dos modos de núcleo e do m -ésimo modo de casca, respectivamente, e Λ é o período da rede. Como a

constante de propagação é dada por $2\pi n_{\text{eff}}/\lambda$, a condição de casamento de fase pode também ser descrita por:

$$\lambda_m = (n_{co} - n_{cl}^m) \Lambda \quad (2)$$

onde λ_m é o comprimento de onda de ressonância entre o modo de núcleo e o modo m de casca, e n_{co} e n_{cl}^m são, respectivamente, o índice de refração efetivo do modo de núcleo e do m -ésimo modo de casca. Uma vez na casca, a luz é perdida rapidamente por atenuação devido às perdas na interface casca-meio externo, deixando no espectro de transmissão da LPG vales de atenuação.

A característica de sensoriamento das LPG para variações do meio externo será dada pela sensibilidade da fibra ótica a estas mudanças. No caso de medidas de contaminantes na água, o principal fator será a mudança no índice de refração do meio externo. Uma vez que o índice de refração efetivo do modo de casca é dependente do meio circunvizinho à mesma, do índice de refração da casca e do núcleo; e o índice efetivo do modo de núcleo depende somente dos índices de refração do núcleo e da casca, uma mudança no meio externo implica em alterar o termo n_{cl}^m de (2), alterando assim a condição de casamento de fase, e ocasionando deslocamentos em comprimento de onda dos vales existentes no espectro de transmissão.

Processo de fabricação

O método usado para a gravação das redes de período longo é similar ao utilizado em [3] com algumas modificações. Uma fibra monomodo padrão (SMD da ABCXtal) sem capa é posicionada entre os eletrodos de uma máquina de emendas. Uma massa de pequeno valor (17,58 g) é colocada numa das extremidades da fibra para manter a mesma com uma tensão longitudinal constante e a outra extremidade da fibra é presa num estágio de translação de precisão controlado por computador. A resolução linear desse

estágio é de 5 μm [4]. Uma vez realizados os procedimentos acima, um arco elétrico de corrente e tempo escolhidos é então aplicado e, logo após, o deslocamento da fibra por um período Λ é efetuado. Ao se repetir os passos de aplicação do arco elétrico e de deslocamento da fibra o que se irá formar é uma perturbação periódica no núcleo da fibra ótica ocasionada pelo aquecimento térmico da mesma.

Um procedimento interessante a ser executado durante a gravação é acompanhar a evolução do espectro de transmissão. Isso possibilita escolher a resposta da rede resultante, que pode variar conforme a aplicação, além de ser possível verificar se há algum problema ocorrendo durante o processo de fabricação. O esquema de montagem do sistema de gravação utilizado está mostrado na Fig 1. A luz proveniente de uma lâmpada halógena é focalizada na fenda de entrada de um monocromador e a componente espectral desta lâmpada que é enviada para a fenda de saída do mesmo é modulada por um obturador mecânico e acoplada à fibra com auxílio de uma lente objetiva de 40x. Após a passagem pela fibra, a luz transmitida é novamente focalizada num detector InGaAs com o uso de uma lente objetiva de 40x e a resposta do sensor é passada para um amplificador diferencial *lock-in*, que realiza somente a amplificação de sinais que de frequência igual à indicada pelo obturador mecânico. Um microcomputador é responsável pela coleta do sinal do amplificador diferencial, controle do monocromador e do estágio de translação [4]. Um gráfico da variação da amplitude do sinal em relação ao comprimento de onda gera o espectro de transmissão da rede.

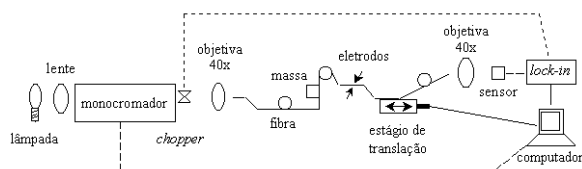


Fig. 1: Esquema da montagem utilizada para fabricação de redes de período longo.

A Fig. 2 mostra a evolução do espectro de transmissão de uma rede de período longo com período de 649 μm para 20 e 40 períodos de interação. Os parâmetros escolhidos para o arco elétrico foram de 12 mA e 0,5 s, para corrente e tempo de duração do arco, respectivamente. Um espectro de transmissão da fibra antes de iniciar a gravação também é indicado (linha sólida). Verifica-se nessa figura que a medida que se aumenta o número de perturbações na fibra, o pico de atenuação em 1540 nm fica mais profundo, indicando um maior acoplamento para o modo de casca ou maior eficiência de acoplamento.

Como o espectro da Fig. 2 não indica a resposta real da LPG, uma vez que existe também a resposta da lâmpada halógena, o próximo procedimento realizado foi a de efetuar a razão entre os espectros

após o início de gravação e aquele feito antes da mesma. Esse procedimento irá garantir que somente as mudanças ocorridas no espectro de transmissão durante a formação da rede serão evidenciadas. A Fig. 3 mostra o resultado obtido para a faixa onde a rede está evidenciada, sendo que neste caso optou-se em usar a escala em decibéis, para melhor destaque do pico de atenuação. A conversão de uma razão de mesma grandeza para decibéis é dada por:

$$\eta[\text{dB}] = 10 \log (E/E_0) \quad (3)$$

onde η é o sinal convertido para decibéis, E refere-se aos espectros obtidos durante a gravação e E_0 o espectro obtido antes da gravação com a fibra posicionada na máquina de emendas.

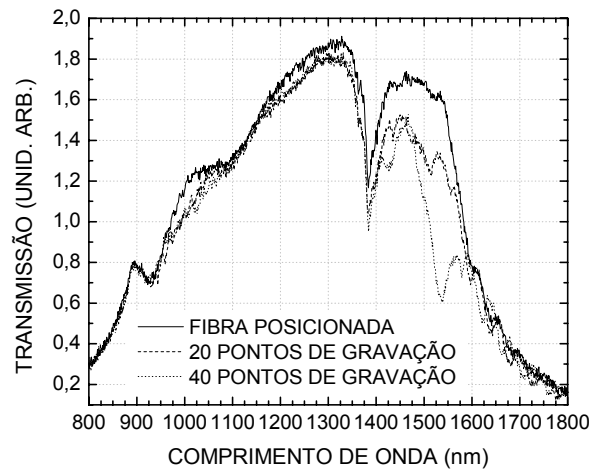


Fig. 2: Evolução do espectro de transmissão da LPG com período de 649 μm para 20 e 40 pontos de interações. O gráfico em linha sólida representa o espectro de transmissão da fibra quando ela está posicionada na máquina de emendas, instantes antes de iniciar a gravação da rede.

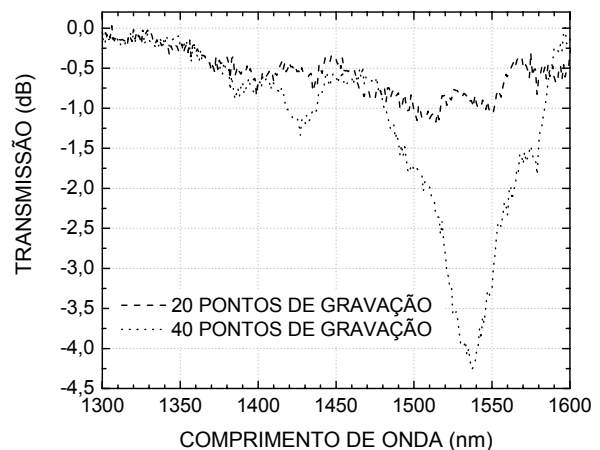


Fig. 3: Espectros da rede de período longo com período de 649 μm quando a mesma tinha 20 e 40 pontos de perturbação. Esse gráfico indica a real mudança no espectro de transmissão da fibra quando uma mudança periódica do índice de refração é feita em seu núcleo.

O fator principal que impulsionou o uso da técnica de gravação ponto-a-ponto com auxílio do arco elétrico é o custo. Como nosso laboratório já possui

a máquina de emendas, devido a experimentos envolvendo fibras óticas, e estas fibras monomodo padrão, os elementos sensores formados não representaram custos adicionais à instituição.

Caracterização da LPG e resultados obtidos

Para realizar as medidas de caracterização da rede de período longo primeiramente foi elaborado um método para a fixação da mesma. As LPG também são sensíveis a parâmetros externos como temperatura [2] e curvaturas [5]. Desse modo, para garantir que a fibra não estava efetuando medidas cruzadas de parâmetros durante os experimentos, fez-se com que a rede ficasse em repouso sobre uma placa de vidro. Próximo às extremidades, a fibra era presa por fita adesiva, garantindo a eliminação do problema relacionado à curvatura. Para o caso da temperatura, o procedimento foi o de manter a temperatura ambiente controlada a ± 1 °C. Os valores de índice de refração foram estimados a partir dos dados para o comprimento de onda em 589 nm e temperatura de 20 °C [6-7] e considerando as proporções utilizadas nas misturas [7].

Medidas feitas em laboratório com água, álcool, glicerina e misturas destes elementos confirmam a sensibilidade da LPG em detectar a inserção daquelas substâncias na água. A Fig. 4 mostra três diferentes espectros de transmissão da LPG com período de 649 μm e 40 pontos correspondentes a resposta da rede para o ar, a água e a glicerina como meios circunvizinhos. Nota-se dessa figura que quando o índice de refração do meio circunvizinho aproxima-se daquele do índice efetivo do modo de casca da fibra (ver espectro referente a glicerina), há uma queda na eficiência da rede. Essa queda está prevista na literatura e pode ser explicada por causa da não existência da interface casca-meio externo, quando aqueles índices são iguais, não havendo assim os modos de casca e o acoplamento sendo dado entre o modo guiado e os modos de radiação contínuos [8].

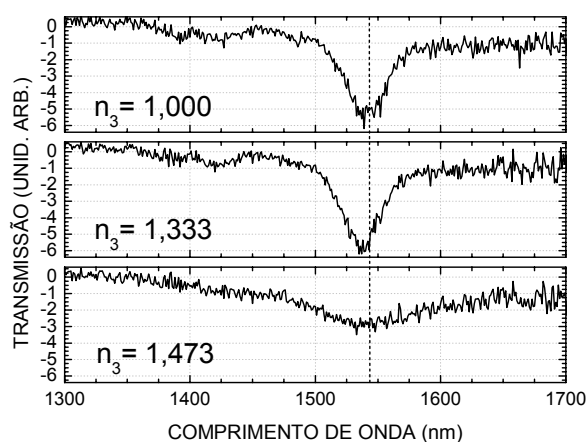


Fig. 4. Deslocamento do pico de atenuação da LPG com $\Lambda = 649 \mu\text{m}$ e 40 períodos de interação, para ar, água e glicerina como meios circunvizinhos.

A Fig. 5 mostra o deslocamento do pico de maior atenuação da rede utilizada. Essa apresentou uma variação de 7 nm no comprimento de onda de pico, o que corresponde a uma resolução média de $0,0139 (\text{nm})^{-1}$ para índices de refração entre 1,333 e 1,430, correspondentes, respectivamente, à água e à mistura de glicerina e água. O método pode estendido a outros fluidos e à detecção de outros contaminantes, como hidrocarbonetos ou pesticidas.

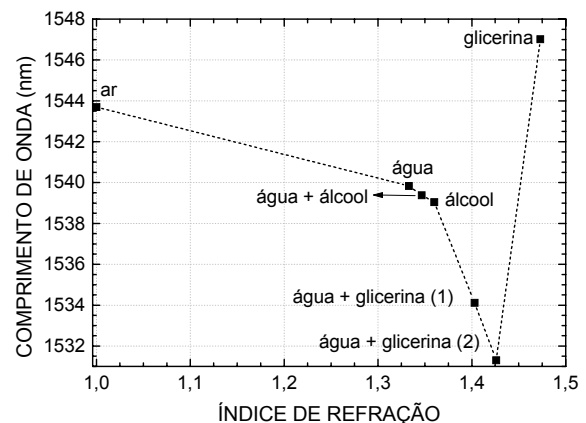


Fig. 5. Variação da posição do pico de maior atenuação da LPG com $\Lambda = 649 \mu\text{m}$ e 40 períodos de interação, para índices de refração variando entre 1,000 e 1,426.

Conclusões

Mostramos que a técnica é viável para implementação de sensores para monitorar a qualidade de reservas de água, podendo ser desenvolvida especificamente para uma dada família de contaminantes, mediante o projeto e calibração da rede utilizada como sensor.

Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pela CAPES, CNPq, CTPETRO e Fundação Araucária (Agências Brasileiras).

Referências

- [1] J. Buerck, S. Roth, K. Kraemer, N. Klaas, "Application of a fiber-optic NIR-EFA sensor system for in situ monitoring of aromatic hydrocarbons in contaminated groundwater", *J. Hazardous Materials*, **83** (2001) 11-28.
- [2] A. M. Vengsarkar, P. J. Lemaire, J. B. Judkins, V. Bhatia, T. Erdogan, and J. E. Sipe, "Long-Period Fiber Gratings as Band-Rejection Filters", *J. Lightwave Technol.* **14** (1996) 58-65.
- [3] G. Rego, O. Okhotnikov, E. Dianov, and V. Sulimov, "High-Temperature Stability of Long-Period Fiber Gratings Produced Using an Electric Arc", *J. Lightwave Technol.* **19** (2001) 1574-1579.

- [4] J. L. Fabris, R. E. de Góes, R. Falate, and M. Müller, “Sistema Integrado para Caracterização Ótica de Materiais”, *Rev. Fis. Aplic. e Instr.*, **14** (1999), 38-44.
- [5] H. J. Patrick, C. C. Chang and S. T. Vohra, “Long period fibre gratings for structural bend sensing”, *Electron. Lett.*, **34** (1998), 1773-1775.
- [6] P. Tipler, *Física para cientistas e engenheiros*, vol. IV, eds. Guanabara Koogan S.A.: Rio de Janeiro, 1991, pp. 41.
- [7] W. Bueno, J. F. C. Boodts, L. Degreve, F. A. Leone, *Química Geral*, eds. McGraw-Hill do Brasil: São Paulo, 1978, pp. 29-32, 307-315.
- [8] V. Bhatia, and A. M. Vengsarkar, “Optical fiber long-period grating sensors”, *Opt. Lett.*, **21** (1996), 692-694.