



**PRH10**  
Planejamento e Otimização  
de Processos de Petróleo e  
Gás Natural



## **Redes de Período Longo para Controle de Qualidade de Combustíveis: I - Mistura Álcool-Gasolina**

R. Falate, H. J. Kalinowski, J. L. Fabris, M. Müller  
Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, 80230-901 Curitiba, PR.

Laboratório de Inovação em Tecnologia de Sensores  
E-mail: rfalate@cefetpr.br

**Resumo.** *Este artigo mostra os resultados obtidos quando se utiliza uma rede de período longo para determinar a variação da concentração de álcool etílico na gasolina. A rede usada nesse experimento foi gravada por meio da aplicação ponto-a-ponto de um arco elétrico proveniente de uma máquina de emendas. O período da rede e o comprimento eram de 0.649 mm e 34 mm, respectivamente. Foi obtida uma variação média do pico de ressonância da rede de 4 nm quando a concentração de álcool foi variada entre 24 e 49 %, a faixa possível para eventuais fraudes sem causar maiores danos aos equipamentos que utilizem tal composição.*

**Palavras-chave:** *Controle de Qualidade da Gasolina, Sensores, Redes de Período Longo*

**Abstract.** *We determine the volumetric concentration of ethanol mixed in commercial gasoline by using a long period grating written in fibre optic. The grating is produced by a point to point electric arc discharge of a splicing machine. The spatial period and length of the used grating are, respectively, 649  $\mu\text{m}$  and 34 mm. The average shift of the wavelength of the resonance peak is about 4 nm when ethanol proportion changes from 24 to 49 %, Such determination is adequate to monitor the mixture of ethanol in gasoline for consumer's quality control applications.*

**Key words:** *Quality of Gasoline, Sensors, Long Period Grating*

### 1. INTRODUÇÃO

As redes em fibra óticas têm recebido grande aplicação tanto nas comunicações óticas como na área de sensores. Na primeira, as redes podem ser usadas, por exemplo, como filtros de comprimento de onda, equalizadores de ganho e compensadores de dispersão, enquanto que na segunda, seu uso seria principalmente para medida de parâmetros físicos tais como temperatura, tensão mecânica, tensão longitudinal e índice de refração [1]. Ao lado da variedade de parâmetros físicos que uma rede em fibra pode medir, estes elementos sensores possuem as qualidades intrínsecas das fibras óticas como operação eletricamente passiva, imunidade eletromagnética, alta sensibilidade e capacidade para multiplexação [1], além de elevado ponto de fusão, baixa atenuação, baixo peso e dimensão reduzida, características importantes para o uso em sensores.

Uma classe de redes em fibras que tem chamado atenção por parte dos pesquisadores é as redes de período longo (LPG) [2]. Diferente das redes de Bragg (FBG) que possuem período de interação da ordem de um micrometro e acoplamento entre os modos de núcleo co-propagante e contra-propagante, as LPG por tem sua operação dada pelo acoplamento entre modos co-propagantes de núcleo e os de casca, resultando em períodos de interação maiores que das FBG para a sua fabricação. Os comprimentos de onda de ressonância das redes de período longo serão dados pela seguinte condição de casamento de fase [2]:

$$\lambda_m = (n_{co} - n_{cl}^m) \Lambda \quad (1)$$

onde  $\lambda_m$  é o comprimento de ressonância entre o modo de núcleo e o modo m de casca,  $n_{co}$  e  $n_{cl}^m$  são, respectivamente, o índice de refração efetivo do modo de núcleo e do m-ésimo modo de casca, e  $\Lambda$  é o período da rede. Uma vez que os modos estejam na casca, estes decaem rapidamente devido às imperfeições da fibra, as curvaturas e a interface casca-meio externo, deixando no espectro de transmissão vales de atenuação.

A operação das LPG como sensores se deve à diferença entre as variações dos índices efetivos dos modos de núcleo e dos modos de casca, quando a variação de um parâmetro físico externo à fibra é provocada, alterando a condição de casamento de fase e deslocando o comprimento de onda de ressonância da rede. No caso da mudança no índice de refração circunvizinho, os índices efetivos que irão sofrer alterações serão o dos modos de casca, que dependem do índice de refração do modo de núcleo, de casca e do meio externo à casca da fibra. O índice efetivo do modo de núcleo não irá sofrer alterações porque depende somente dos índices do núcleo e da casca. Como as LPG possuem uma resposta imediata as variações de índice de refração [2]-[4], seu uso para sensores de índice é mais interessante comparado com as redes de Bragg, uma vez que não é necessário se ter acesso ao campo evanescente da fibra ótica, que reduz sua rigidez [4].

Este trabalho demonstra a aplicação das redes de período longo como sensor de índice de refração para a determinação da qualidade da gasolina. No Brasil, é permitida a inserção de até 24 % de álcool etílico na gasolina (no nosso caso, o álcool etílico é extraído da cana de açúcar). No entanto, como o custo do álcool etílico é reduzido em relação à gasolina, cerca de 60 %, é prática comum a adulteração da deste combustível com a inserção de volumes de álcool além daquele permitido. Existem tentativas de eliminar essas adulterações, no entanto, estas ou possuem restrições de tempo ou de custo para a análise da amostra. Embora o experimento tenha sido realizado com álcool, este pode ser estendido para qualquer outro tipo de solvente.

## 2. DESENVOLVIMENTO

A técnica utilizada para gravar as LPG é a semelhante à usada em [5]. A fabricação consiste em posicionar uma fibra monomodo padrão sem capa entre os eletrodos de uma máquina de emendas comercial. Numa das extremidades da fibra é colocada uma pequena massa, para manter a tensão longitudinal constante durante a gravação, e na outra extremidade a fibra ótica era presa num estágio de translação de precisão controlado por computador. Uma descarga elétrica é então produzida com corrente e duração temporal adequadas, e em seguida a fibra é deslocada por um comprimento igual ao período da rede. Esse procedimento é repetido várias vezes, originando perturbações periódicas ao longo da

fibra resultante do seu aquecimento local. Como a leitura da rede estava sendo feita durante o processo de gravação, a formação da rede era realizada até que se obtivesse um espectro adequado a aplicação que se desejava ou de forma a obter a máxima eficiência de acoplamento, facilitando assim o levantamento da sensibilidade do sensor. O critério de escolha dessa técnica de fabricação foi principalmente o custo. O método de gravação ponto-a-ponto por arco elétrico não exige fibras especiais (fibras fotosensibilizadas ou que sofreram algum processo de sensibilização, como a hidrogenação). Além disso, a máquina de emendas é um equipamento essencial em laboratórios de comunicações óticas, ou seja, não houve necessidade de aquisição fontes de escrita e elementos óticos especiais (lentes e espelhos para UV) para a gravação das LPG.

As medidas de caracterização das LPG e a verificação da sensibilidade destas à variação de índice de refração foram feitas usando uma lâmpada halógena, cuja emissão era focalizada na fenda de entrada de um monocromador e, logo após a fenda de saída, esta luz era modulada por um obturador mecânico. A radiação modulada era acoplada na fibra por meio de uma lente objetiva 40x e a luz transmitida na saída pela fibra ótica era novamente focalizada por uma lente objetiva 40x num detector InGaAs. O sinal proveniente do detector e a frequência de modulação do obturador eram passados para o amplificador diferencial lock-in. As leituras do sinal do amplificador eram feitas por um micro computador, que controlava os dados fornecidos, o deslocamento do monocromador e, quando se tratava da gravação da rede, o estágio de translação da fibra [6]. As redes de período longo utilizadas tiveram como parâmetros de arco uma corrente de 12 mA e tempo de duração de 0.5 s. O estágio de translação de precisão possui uma resolução espacial de 5  $\mu\text{m}$ .

Para medir a resposta do sensor ao índice, primeiramente o fluido era colocado sobre a rede e logo após este procedimento, a rede e o fluido eram cobertos por duas lamínulas em contato. Esse procedimento garante que a LPG fique imersa no líquido durante as aquisições dos espectros de transmissão. Inicialmente, para verificar se as redes fabricadas eram capazes de detectar variações de índice, foram colocados fluidos com índices de refração diferentes e conhecidos. A resposta da rede com período de 649  $\mu\text{m}$  e 40 pontos de gravação está mostrada na Fig. 1. Dessa figura pode-se notar que uma maior variação em comprimento de onda ocorre quando o índice do meio externo à fibra aproxima-se daquele da casca [3]-[4]. Uma variação de 7 nm na faixa entre 1.333 e 1.426 foi obtida, resultando numa resolução média de 0.0116 (nm)<sup>-1</sup> [7].

Uma comparação entre os espectros com a água e com uma mistura de água com glicerina como fluido circunvizinhos mostra outra característica das LPG [3], a da diminuição do pico de atenuação quando o índice de refração do meio circunvizinho aproxima-se daquele da casca, Fig. 2. Esse espectro foi obtido com a mesma LPG da Fig. 1.

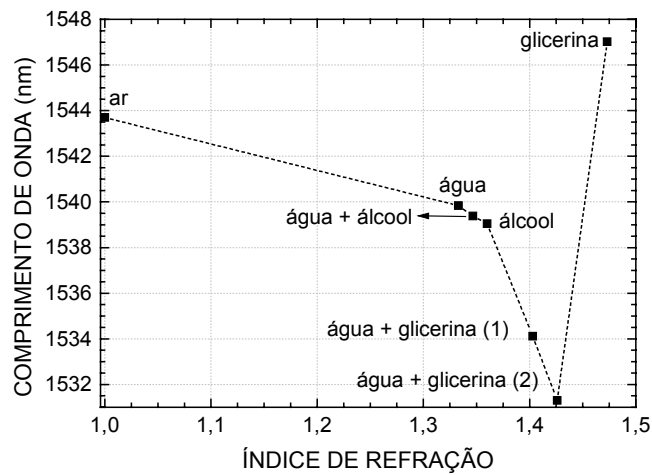


Figura 1 – Variação da posição do pico de maior atenuação da LPG com  $\Lambda = 649 \mu\text{m}$  e 40 períodos de interação, para índices de refração variando entre 1.000 e 1.426.

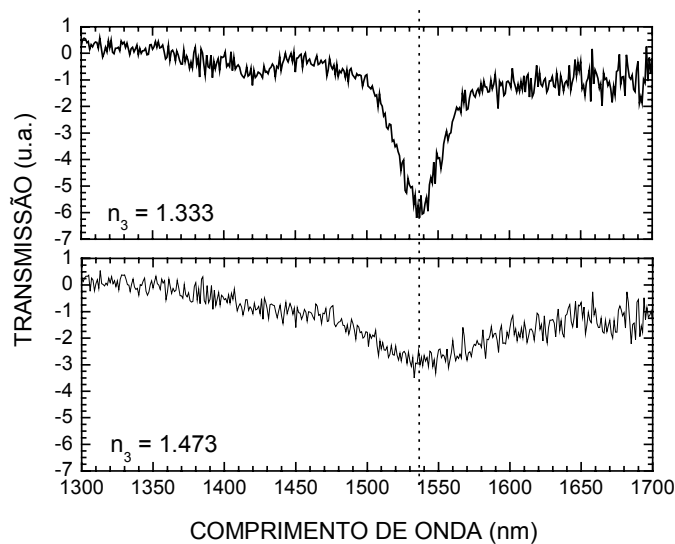


Figura 2 – Comparação do pico de atenuação da LPG com  $\Lambda = 649 \mu\text{m}$  e 40 períodos de interação, para água e glicerina como meios circunvizinhos.

O espectro de transmissão da Fig. 3 mostra a sensibilidade da rede quando a concentração de álcool na gasolina é variada, para uma LPG com período de  $649 \mu\text{m}$  e 53 períodos de interação. Nota-se nessa figura que, embora a rede possa detectar concentrações acima de 49 %, existe uma região de maior sensibilidade e com uma resposta aproximadamente linear, na faixa entre 24 e 49 %, os possíveis valores de concentração para adulteração. Na figura em destaque é mostrado um ajuste linear nessa faixa, para determinar a sensibilidade média da rede. O coeficiente angular resultante foi de  $0.17 \pm 0.02 \text{ nm}/\%$ .

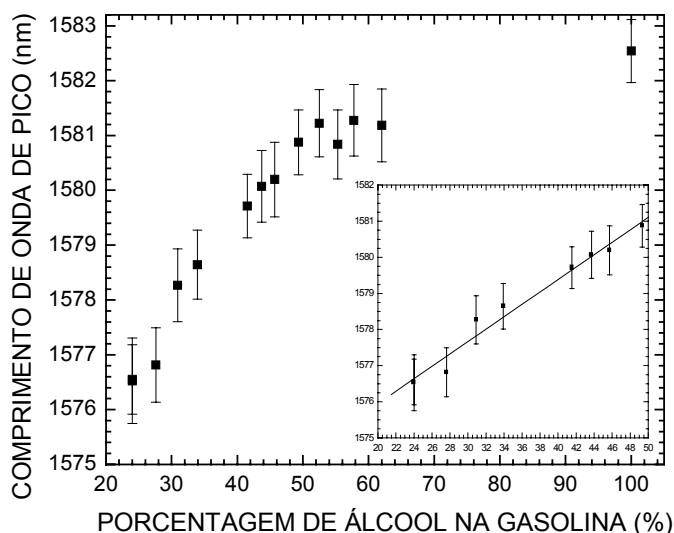


Figura 3 – Variação da posição do pico de maior atenuação da LPG com  $\Lambda = 649 \mu\text{m}$  e 53 períodos de interação, para concentrações de álcool na gasolina variando entre 24 e 100 %. A figura ampliada indica a parte de maior sensibilidade da rede, entre 24 e 50 %, que pode ser considerada aproximadamente linear. O coeficiente angular dessa reta é de  $0.17 \pm 0.02 \text{ nm}/\%$ .

### 3. CONCLUSÕES

A determinação da presença de diferentes concentrações de álcool etílico na gasolina utilizando redes de período longo foi pela primeira vez apresentada. Inicialmente, para verificar se a rede respondia a diferentes índices de refração, algumas medidas foram feitas com fluidos de índice de refração conhecidos, chegando-se a uma resolução média de  $0.0116 \text{ (nm)}^{-1}$  para valores de índices de refração entre 1.333 e 1.426. Após essa averiguação, foi verificada a capacidade da LPG em atuar como sensor para detectar adulterações na gasolina comercial, mediante adição de álcool etílico em proporção superior à legal. O valor médio para o deslocamento espectral da banda de ressonância da LPG obtido foi de  $0.17 \pm 0.02 \text{ nm}/\%$ , para a faixa possível de fraude, entre 24 e 49 % de álcool na gasolina. Embora essa determinação tenha sido realizada com álcool etílico, ela é passível de ser aplicada a outros solventes orgânicos utilizados para adulterar o combustível nas etapas de distribuição e comercialização.

Adicionalmente, deve ser ressaltado que um sensor baseado em dispositivo a fibra ótica pode ser operado tanto de forma remota (através de um enlace ótico que pode ter a dimensão de vários quilômetros) quanto por um equipamento transportável. O tempo de resposta para comprovação dos limites legais (no caso do álcool etílico) ou para determinação da presença de outros compostos pode ser inferior ao minuto. Além disso, a unidade sensora, em si, não pode ser adulterada de maneira simples, garantindo a integridade do processo de medição.

Uma solicitação de privilégio de invenção foi depositada no INPI.

***Agradecimentos.***

Este trabalho recebeu apoio financeiro das seguintes agências de fomento: CAPES, CNPq, CTPETRO e Fundação Araucária.

## 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", *J. Lightwave Technol.*, vol. 15, no. 8, 1442 (1997).
- [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.*, vol. 14, no. 1, 58 (1996).
- [3] H. J. Patrick, A. D. Kersey, and F. Bucholtz, "Analysis of the Response of Long Period Fiber Gratings to External Index of Refraction", *J. Lightwave Technol.*, vol. 16, no. 9, 1606 (1996).
- [4] V. Bhatia, and A. M. Vengsarkar, "Optical fiber long-period gratings sensors", *Opt. Lett.*, vol. 21, no. 9, 692 (1996).
- [5] 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.*, vol. 19, no. 10, 1574 (2001).
- [6] J. L. Fabris, R. E. de Góes, R. Falate, e M. Muller, "Sistema Integrado para Caracterização Ótica de Materiais", *Rev. Fis. Aplicada e Instrumentação*, vol. 14, no. 2, 38 (1999).
- [7] R. Falate, M. C. Fugihara, M. Muller, H. J. Kalinowski e M. Muller, "Produção e Caracterização de Redes de Longo Período Gravadas com Arco Elétrico", in *X Simpósio Brasileiro de Microondas e Optoeletrônica, SBMO 2002, Anais do X Simpósio Brasileiro de Microondas e Optoeletrônica, Sociedade Brasileira de Microondas e Optoeletrônica, 2002, p. 78-82, 2002.*