

# DESENVOLVIMENTO DE UM SENSOR DE DESLOCAMENTO A FIBRA ÓPTICA BASEADO NO PRINCÍPIO INTERFEROMÉTRICO

*Leandro Procópio Alves<sup>1</sup>, Egberto Munin<sup>2</sup>*

<sup>1,2</sup>Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento (IP&D),  
Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP), Brasil, 12244-000  
Fone: (0XX12) 3947-1128 Fax: (0XX12) 3947-1149  
Av. Shishima Hifumi, 2911 – Urbanova,  
São José dos Campos, SP, Brasil  
[leandro@univap.br](mailto:leandro@univap.br), [munin@univap.br](mailto:munin@univap.br)

**Resumo:** O rápido avanço da área de automação implica no desenvolvimento de sensores mais confiáveis e precisos. Atualmente contamos com um grupo extenso de sensores comerciais, dentre eles destacam-se sensores de pressão, temperatura, velocidade, posição, nível, deslocamento, entre outros. Os sensores que recebem maior atenção do mercado são os sensores baseados na tecnologia de fibras ópticas, principalmente pela versatilidade de aplicação. Este trabalho foi desenvolvido baseando-se na tecnologia dos sensores de deslocamento a fibra óptica, com o incremento do princípio interferométrico. Foram comparadas as curvas características do sensor para dois comprimentos de onda, que resultou em uma diferença na resposta na região de 1500  $\mu\text{m}$  e grande oscilação na região posterior a 2000  $\mu\text{m}$ . O funcionamento do sensor é extremamente dependente da geometria adotada para o cabo de fibras ópticas e alinhamento do conjunto.

**Palavras-chave:** sensor, fibra óptica, interferometria, laser.

**Área do Conhecimento:** III - Engenharias

## Introdução

Os elementos sensores são fundamentais para o desenvolvimento do controle sobre todo e qualquer sistema. A função dos sensores é de fornecer a informação sobre as variações que estiverem ocorrendo no sistema e também disponibilizar uma realimentação de sinal visando minimizar erros durante a tomada de decisão.

Após trinta anos do primeiro trabalho envolvendo fibras ópticas em sensores, diversas idéias foram propostas e muitas técnicas foram desenvolvidas para as mais variadas aplicações, dentre elas destacam-se sensor de rotação, aceleração, medidas de campos elétricos e magnéticos, temperatura, pressão, acústica, vibração, posição linear e angular, tensão, umidade, viscosidade, medidas químicas e uma gama de outras aplicações. Embora hoje se encontre muitos sensores comercialmente disponíveis, estes

compõem um pequeno grupo de técnicas que obtiveram sucesso.<sup>[1,2]</sup>

As fibras ópticas oferecem muitas vantagens em relação as técnicas convencionais no que tange as aplicações em sensoriamento, dentre elas estão: imunidade a interferências eletromagnéticas, tamanho reduzido, possibilidade de aplicação em ambientes hostis, com alta ou baixa temperatura e embutido em estruturas, possibilidade de multiplexar diversos sensores, baixo custo em dispositivos de alta performance, capacidades multifuncionais e longas distâncias entre ponto de medida e ponto de leitura.<sup>[2]</sup>

Este estudo objetiva desenvolver um sensor de posição a fibra óptica que opere no modo interferométrico, unindo características dos sensores reflexivos e sensores interferométricos.

## Materiais e Métodos

Para facilitar a montagem e padronizar a geometria do cabo de fibras ópticas, optou-se por utilizar um cabo de fibras comercial, configurado de acordo com a aplicação. O modelo escolhido foi o 77404 da marca Oriel Instruments.

O cabo de fibras ópticas escolhido possui a distribuição das fibras na configuração concêntrica, onde as fibras de transmissão estão posicionadas ao centro do cabo e as fibras de recepção na periferia com configuração em anel, circundando as fibras de transmissão. Como pode ser visto na Figura 1.

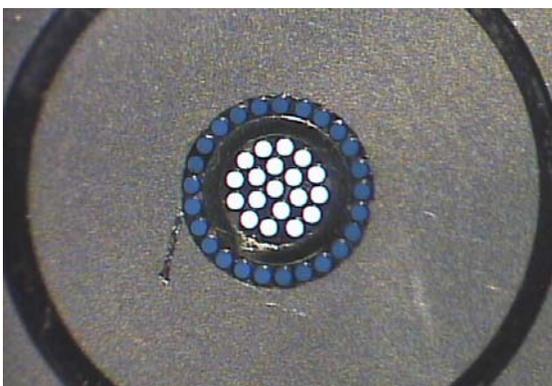


Figura 1: Imagem da ponta sensora do cabo de fibras, onde temos as fibras de excitação, as internas, em tom claro e as fibras de coleta, distribuídas no anel externo, em tom escuro.

O cabo de fibras foi fixado em um suporte, modelo 561D da marca Newport, com ajuste micrométrico de posição nas direções x, y e z, e ajuste de inclinação no eixo vertical e horizontal, para um perfeito alinhamento com a superfície alvo.

A superfície de referência foi escolhida baseando-se no princípio que esta deve promover a interferência entre duas componentes amostrais do sinal óptico incidente, efeito esse conseguido com uma lâmina fina de vidro transparente, na qual são produzidas duas reflexões, uma em cada face.

Uma lamínula padrão usada em microscopia foi escolhida como superfície de referência por suprir a condição imposta. A lamínula foi fixada em um suporte modelo 77809 da marca Oriel Instruments, com ajuste nos dois eixos transversais ao feixe incidente.

A radiação refletida pela segunda face da lamínula estará com a fase atrasada em relação à radiação refletida pela primeira face. O atraso entre as fases das radiações refletidas provocará o efeito de interferência de ondas, que resultará em zonas de máximo e mínimo na radiação refletida.

As zonas de máximo compõem a região de interesse, sendo acoplado o primeiro anel de interferência nas fibras de coleta.

Para prover o deslocamento necessário para caracterizar o sensor, o módulo da superfície de referência foi fixado em uma base transladora, modelo 07TPD003 da marca Melles Griot, com curso total de deslocamento igual a 25000  $\mu\text{m}$ , e resolução de 10  $\mu\text{m}$ . Durante o processo de caracterização, esta base micrométrica permitiu também a determinação da referência da posição de zero do sensor.

As fibras centrais do cabo, com função de excitação, receberam o acoplamento de radiação laser monocromática, com os cuidados necessários para que todas as fibras transmissoras recebessem a radiação de forma uniforme.

Foram utilizados filtros atenuadores para limitar a intensidade luminosa à região linear de resposta do detector. Esses filtros foram posicionados entre a fonte de luz laser e o cabo de fibras ópticas.

A extremidade de coleta do cabo de fibras ópticas foi acoplada a um fotodetector de silício, modelo 1005481 da marca Holobeam Inc., para medida da intensidade de sinal interferencial proveniente da superfície de referência. O fotodetector foi conectado a um osciloscópio digital, modelo TDS 724C da marca Tektronix.

O osciloscópio foi configurado para medir o nível de tensão com recursos automatizados presentes no instrumento, afim de monitorar a dependência da intensidade de sinal acoplado pelo sensor com o deslocamento.

Na Figura 2 temos uma visão geral da montagem do experimento.



Figura 2: Visão geral da montagem do experimento.

Para melhorar a relação sinal/ruído das medidas, foi ativada a função média (Average) do osciloscópio, sendo estabelecido como padrão a quantia de 50 acumulações.

Os dados de posição e intensidade de sinal foram organizados em uma planilha de dados, utilizando o software Microcal Origin 6.0<sup>®</sup>, onde na coluna correspondente ao eixo horizontal foram inseridos valores de deslocamento em  $\mu\text{m}$ , e na coluna correspondente ao eixo vertical foram inseridos valores de intensidade de sinal em mV.

A relação de intensidade de sinal por posição de deslocamento foi caracterizada para dois comprimentos de onda diferentes, provenientes de dois lasers de He-Ne, sendo o verde, com  $\lambda$  em 543,5 nm e o vermelho com  $\lambda$  em 632,8 nm.

## Resultados

Para efeito de comparação foi levantada a curva característica de um sensor de deslocamento que opera no modo reflexivo, figura 3. Para esse sensor utilizou-se a mesma montagem do sensor em estudo, alterando apenas a superfície refletora, substituída por um espelho de alumínio.

Para todos os dados foi normalizada a intensidade, tomando como referência o ponto mais alto da curva.

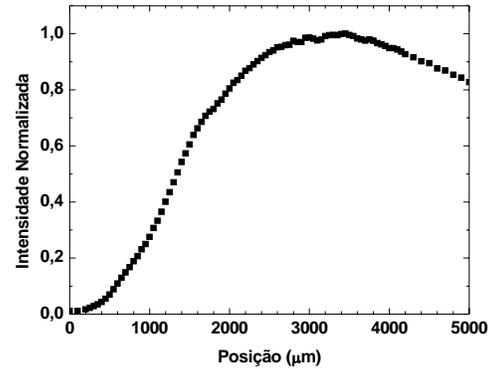


Figura 3: Curva característica de um sensor de posicionamento reflexivo.

Todas as medidas foram realizadas com 25000  $\mu\text{m}$  de deslocamento, porém, a região de interesse se limita na subida e pico da curva, onde a variação é mais acentuada.

Para avaliar os resultados no modo interferométrico de operação, foram levantadas três curvas para cada comprimento de onda e calculada uma média para cada conjunto de três medidas. As médias são comparadas na Figura 4.

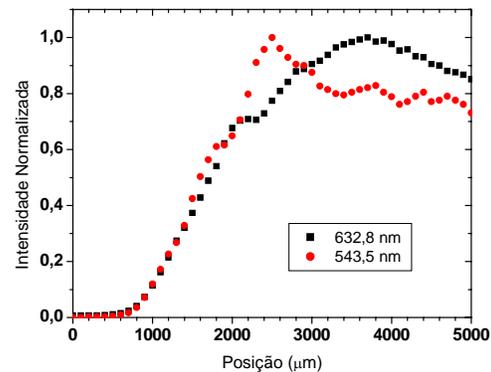


Figura 4: Resposta característica do sensor em estudo para os dois comprimentos de onda utilizados.

De acordo com a figura 4, a resposta do sensor para os dois comprimentos de onda é semelhante até 1500  $\mu\text{m}$ , onde a curva correspondente ao 543,5 nm adquire uma inclinação maior em relação ao 632,8 nm. As duas curvas se igualam em 2000  $\mu\text{m}$  e deste

ponto de deslocamento até o final do curso da base ambas as curvas demonstram um comportamento oscilatório não previsto na concepção do projeto. Este comportamento é devido possivelmente à multiplicidade de fibras na geometria de excitação. Comparando a figura 3 à figura 4, nota-se que para o sensor reflexivo o sinal começa a subir a partir da posição de zero, enquanto que para o modo interferométrico o sinal começa a subir em aproximadamente 1000  $\mu\text{m}$ .

## Discussão

Os resultados obtidos caracterizam uma importante dependência da resposta do sensor em relação a sua montagem e configuração.

Devido ao uso de uma geometria concêntrica no cabo de fibras ópticas, este deve estar perfeitamente alinhado com a superfície de referência. O desalinhamento causará uma interferência na curva de resposta exercida pelas fibras de coleta que receberão o acoplamento da luz refletida fora de sincronismo, ou seja, enquanto algumas fibras do anel estiverem acoplando um ponto de máximo, outras estarão acoplando um ponto de mínimo. Essa inversão ocasiona uma sobreposição de curvas e conseqüentemente um alargamento da resposta do sensor.

O cabo que compreende as fibras de recepção e transmissão também deve receber grande atenção porque este pode introduzir variações nos modos de transmissão na radiação luminosa que está sendo guiada em seu interior. Caso ocorra qualquer perturbação no comprimento do cabo, como mudança de temperatura ou pressão exercida, este funcionará como um sensor do tipo *microbend* que desacopla parte da radiação luminosa devido a uma interferência externa.

Os resultados podem ser melhorados buscando uma geometria do cabo de fibras ópticas que não dependa significativamente do alinhamento com a superfície de referência.

## Conclusão

Este é um estudo preliminar para verificação do funcionamento prático do sensor proposto.

O sensor caracterizado apresentou diferenças na curva de resposta quando comparado com o sensor de deslocamento reflexivo e principalmente quando comparado com comprimentos de onda diferentes, onde a diferença de inclinação das curvas se destaca.

A curva de resposta do sensor é extremamente dependente do alinhamento deste com a superfície de referência.

O cabo de fibras ópticas deve ser o mais curto possível e deve-se evitar exercer sobre este deslocamento, pressão ou curvatura de raio muito pequeno, sob pena de influenciar a resposta do sensor.

Novos estudos são necessários para comprovar o incremento na eficiência deste sensor relativamente aos sensores comercialmente disponíveis.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o auxílio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de São Paulo – FAPESP, via projeto no. 1996 / 05590-3.

## Referências

- [1] Byoung-ho Lee, Review of the present status of optical fiber sensors, *Optical Fiber Technology* 9(2003)57–79.
- [2] Eric Udd, e colaboradores, *Fiber Optic Sensors for Infrastructure Applications – Final Report*, 1998.
- [3] Hastings, MC, e colaboradores, Engineering the development of Optical Fiber Sensors for adverse environments, *Nuclear Engineering and Design* 167 (1997) 239-249.
- [4] Moszkowicz, VN, Monitoração de deformações em dutos utilizando Sensores a Fibra Óptica com base em Redes de Bragg, *Boletim técnico. PETROBRAS*, Rio de Janeiro, 45 (2): abr./jun., 2002.
- [5] Halliday, D., Resnick, R., Walker, J., *Fundamentals of physics*, 4ª edição, 1993.