



## Fabricação de sensores de fibra ótica baseados em macrocurvaturas e caracterização quanto a distensão e torção

### Fabrication of optical fiber sensors based on macrocurvatures and characterization with elongation and torsion

Lucas Carvalho Moreira<sup>1</sup>, Marcia Muller<sup>2</sup>

#### RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados do processo de fabricação e caracterização de sensores de macrocurvatura em fibra ótica. Para a construção dos sensores, foram utilizadas fibras óticas de sílica curvadas em anéis com diferentes diâmetros e configurações encapsulados em elastômero de silicone. Um dos sensores contém um único anel de fibra com diâmetro de 2 cm. O outro sensor é formado por um conjunto de 5 anéis concêntricos com diâmetros iguais a 6,23 cm, 5,32 cm, 3,73 cm, 2,6 cm e 1,55 cm. Para a etapa de testes, os sensores no formato de placas de silicone foram submetidos a distensões e torções de magnitudes variadas. Os sensores foram interrogados na região espectral do visível, e carregam no seu espectro de transmissão, a informação sobre a deformação a qual foram submetidos. Os testes realizados permitiram avaliar a capacidade de detecção de curvatura e distensão dos sensores produzidos, comparar as respostas destes sensores, e determinar as faixas dinâmicas de operação. Os resultados apresentados neste trabalho abrem caminho para a realização de pesquisas futuras buscando uma otimização dos dispositivos.

**PALAVRAS-CHAVE:** macrocurvatura em fibras óticas; fibras óticas; sensor ótico.

#### ABSTRACT

This work presents the results of the manufacturing and characterization process of optical fiber macrocurvature sensors. To construct the sensors, silica optical fibers curved into rings with different diameters and configurations encapsulated in silicone elastomer were used. One of the sensors contains a single fiber ring with a diameter of 2 cm. The other sensor is made up of a set of 5 concentric rings with diameters equal to 6.23 cm, 5.32 cm, 3.73 cm, 2.6 cm and 1.55 cm. For the testing stage, the sensors in the form of silicone plates were subjected to strains and twists of varying magnitudes. The sensors were interrogated in the visible spectral region, and carry information about the deformation to which they were subjected in their transmission spectrum. The tests carried out made it possible to evaluate the curvature and distension detection capacity of the sensors produced, compare the responses of these sensors, and determine the dynamic operating ranges. The results presented in this work pave the way for future research seeking to optimize devices. **KEYWORDS:** optical fiber macrobending; optical fiber; optical sensor

## INTRODUÇÃO

Os sensores de fibra ótica baseados em macrocurvatura em formato de anel, permitem o sensoriamento de parâmetros físicos por meio de modificações no espectro da luz

<sup>1</sup> Voluntário. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: lucasmoreira@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 4318814660441042.

<sup>2</sup> Docente. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: mmuller@utfpr.edu.br. ID Lattes: 7757984300428347.



transmitida pelo dispositivo quando este é sujeito a uma deformação. As alterações na geometria resultam em alterações no espectro da luz transmitida associadas as perdas por atenuação e aos *Whispering Gallery Modes* (WGM). Quando conectados em série num mesmo segmento de fibra ótica, os sensores de macrocurvatura podem ser multiplexados (KAMIZI, M. A. et al., 2019). A capacidade de multiplexação destes sensores foi avaliada na determinação da localização de forças aplicadas diretamente sobre os sensores (KAMIZI, M. A. et al., 2019) ou sobre uma placa rígida instrumentada com um conjunto de sensores (CARVALHO, Vinicius de., 2022).

Neste trabalho, foram exploradas as características deste tipo de sensor numa etapa inicial de estudo de uma possível aplicação em sensoriamento de distensões e torções. Os resultados podem abrir caminho para utilização destes dispositivos em áreas como robótica, no desenvolvimento de maquinário industrial, bem como outras áreas em que os sensores óticos possam ser uma alternativa a sensores elétricos.

Para o desenvolvimento do trabalho foram fabricados os sensores de macrocurvatura encapsulados, e desenvolvido um sistema experimental que permitiu a realização dos testes de caracterização. Os sensores foram fabricados seguindo os procedimentos de trabalhos anteriores, porém adaptando o método para uma nova geometria de encapsulamento.

## MATERIAIS E MÉTODOS

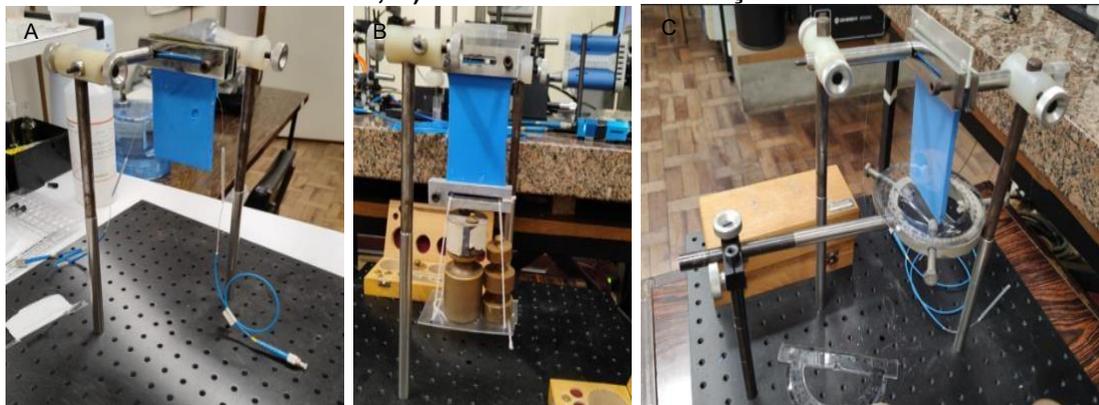
A fabricação dos sensores foi dividida em basicamente duas partes: na produção dos anéis de fibra ótica que constituem as macro-curvaturas, e no encapsulamento individual dos anéis em elastômero. Um dos sensores produzidos contém um único anel de fibra ótica com diâmetro de 2 cm, e o segundo sensor contém 5 anéis concêntricos com diâmetros de 6,23 cm, 5,32 cm, 3,73 cm, 2,6 cm e 1,55 cm.

Para o encapsulamento dos anéis, foi utilizada borracha de silicone SC1000, e um molde retangular. Após a cura completa do elastômero, o sensor tem o formato de uma placa com lados de 10,5 cm e 7,5 cm, e espessura de 0,7 cm. O procedimento para o encapsulamento é uma adaptação do método descrito em trabalhos anteriores (KAMIZI, M. A. et al., 2019) (CARVALHO, Vinicius de., 2022).

Para a caracterização dos sensores, foi montada a bancada de testes modular da figura 1, com a qual foi possível realizar tanto o teste de distensão, quando o teste de torção. No teste de distensão, foi utilizada uma barra de acrílico presa ao sensor como balança, onde iam sendo adicionadas massas entre 20 e 2000 gramas, sendo as 4 primeiras iguais a 20 g, 40 g, 60 g e 100 g, e após isso, aumentamos as massas de 100 em 100 g até atingirmos 2000 g.

No teste de torção, montamos um transferidor completo embaixo da placa de silicone suspensa, e anexamos um transferidor de meia volta a placa. Após isso, as placas contendo os anéis de fibra giradas em torno do seu eixo vertical de 5 em 5 °.

Figura 1– A) Bancada de testes com um sensor suspenso; B) Bancada de testes com balança de distensão; C) Bancada de teste de torção.



Fonte: Próprio autor

Para a interrogação dos sensores foi utilizada uma fonte de luz branca (Ocean Optics, modelo LS-1 LL), um espectrômetro UV-VIS (Ocean Optics, modelo HR 4000). O espectro de transmissão do sensor instalado no sistema de caracterização, sem a aplicação de deformação extra, é usado como referência para os demais.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

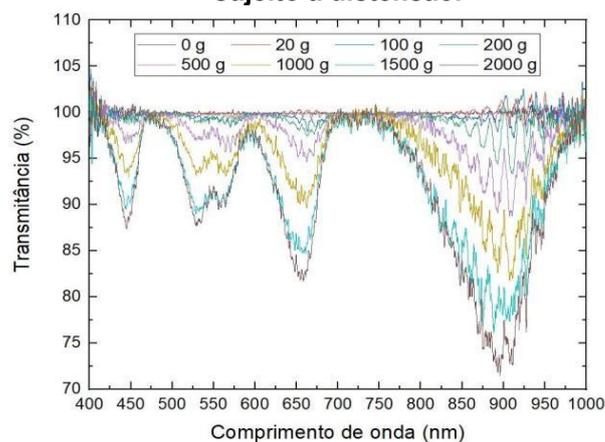
A figura 2 apresenta alguns dos espectros obtidos para o sensor contendo anel de fibra com 2 cm de diâmetro, resultantes da distensão devido a ação de cargas de até 2000g. É possível notar que no teste de distensão desse sensor, ocorreram quatro atenuações principais, para as faixas de comprimentos de onda em torno de 450 nm, 525 nm, 650 nm, e 900 nm. Dessas atenuações, a região em torno de 900 nm apresenta a maior atenuação do espectro.

Este efeito é esperado uma vez que as maiores perdas de sinal por curvatura ocorrem para maiores comprimentos de onda. Cada carga aplicada produz uma distensão do tapete e um espectro característico. Apesar da semelhança na forma do espectro, com o aumento da distensão ocorre um aumento da atenuação que pode ser usado no sensoriamento deste parâmetro.

O teste de torção foi realizado nos sentidos horário e anti-horário e os resultados são apresentados na figura 3. A intenção era verificar se, primeiro, a torção altera o espectro transmitido pelo sensor, e segundo, se essa alteração é a mesma nos dois sentidos. É possível notar que, assim como no teste de distensão, as regiões que sofreram as maiores atenuações também foram aquelas com comprimentos de onda em torno de 450 nm, 525 nm, 650 nm, e 900 nm e que as amplitudes das atenuações aumentaram com o aumento da deformação. Entretanto, dessa vez ocorreram regiões em que a intensidade de transmissão sofreu um aumento em relação à transmissão de referência, ou seja, foram maior do que 100%. Este efeito é devido aos WGM resultantes da reflexão da potência ótica dos modos nas interfaces de diferentes materiais que envolvem o núcleo seguida do reacoplamento para o núcleo. A interferência da luz refletida com aquela propagando no núcleo da fibra gera ressonâncias no espectro de transmissão. Para o teste no sentido

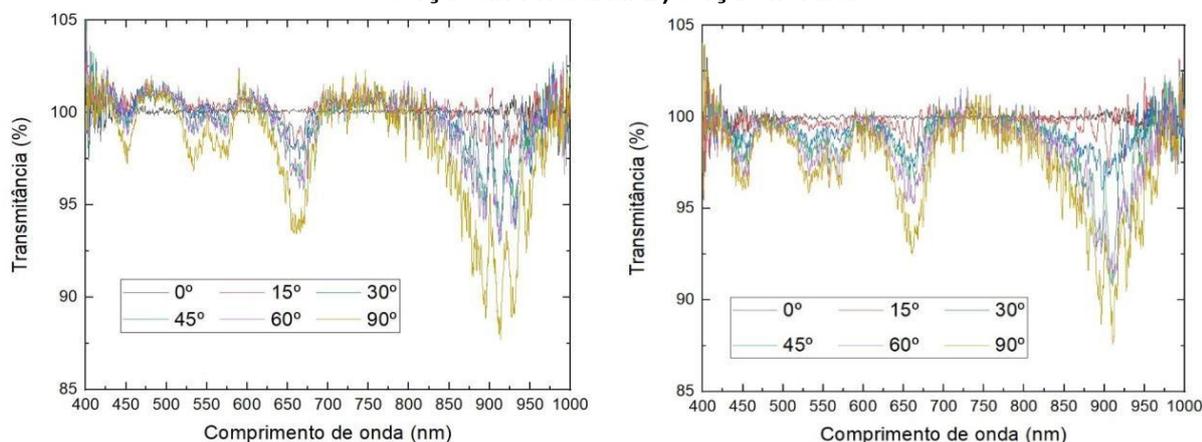
antihorário, houve um aumento na transmissão nas regiões em torno de 475 nm, 600 nm, e na faixa entre 700 nm e 800 nm. Já no teste horário, o aumento foi na região entre 700 nm e 750 nm. Portanto, os espectros obtidos para os mesmos ângulos e sentidos de rotação distintos apresentam diferenças que podem vir a ser exploradas para sensoriamento buscando a identificação não só da torção mas também da sua amplitude.

**Figura 2 – Espectros de transmissão do sensor contendo anel de fibra com diâmetro de 2 cm sujeito a distensão.**



Fonte: Próprio autor

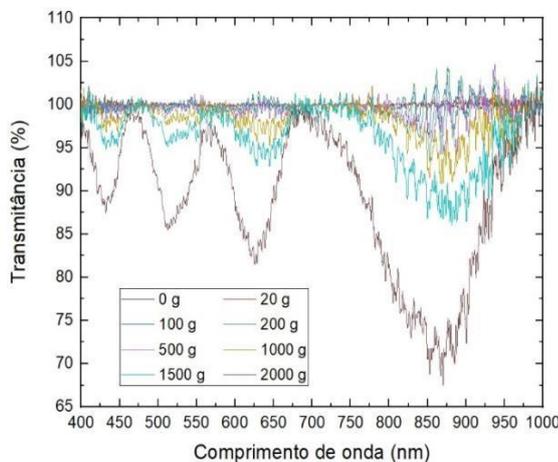
**Figura 3 – Espectros de transmissão do sensor contendo anel de fibra com diâmetro 2 cm. A) torção anti-horária. B) torção horária**



Fonte: Próprio autor

Os resultados referentes ao sensor contendo anéis de fibra concêntricos de raio variado são apresentados nas figuras 4 e 5. Enquanto a distensão do sensor produziu majoritariamente atenuações no sinal, as torções produziram ganhos em algumas regiões do espectro que são dependentes do sentido da torção. É possível notar que as atenuações na distensão ocorreram em aproximadamente 4 faixas de comprimentos de onda, entretanto, existe uma diminuição considerável no sinal medido para a carga de 2000 g.

Figura 4 – Espectro de transmissão dos testes de distensão do sensor de diâmetro variado.



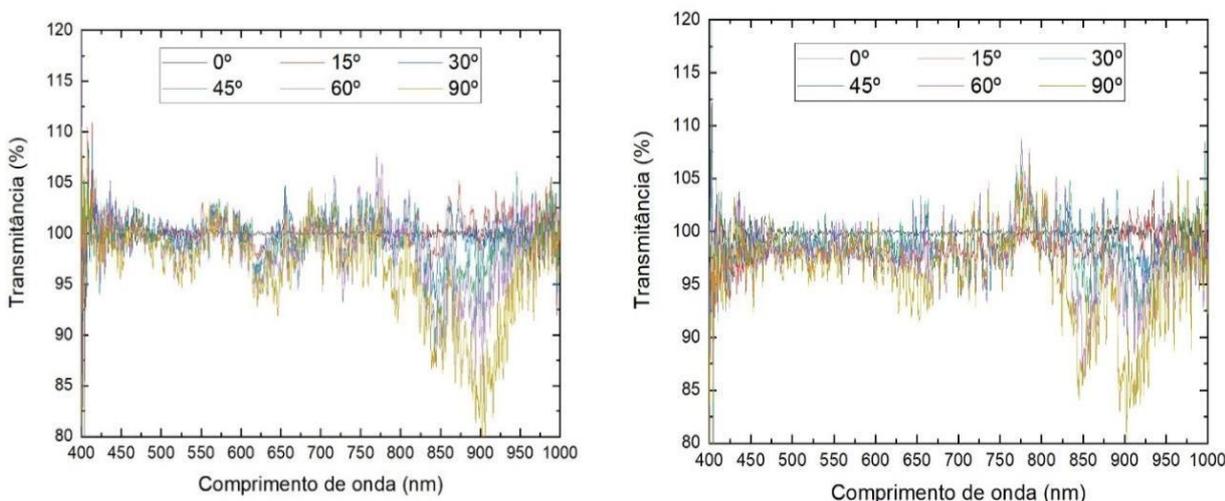
Fonte: Próprio autor

Os espectros de torção, diferentemente da distensão, apresentaram regiões de aumento na transmissão em relação ao sinal de referência, e além disso, é notória a diferença da intensidade do sinal para alguns ângulos de torção, a depender da direção de torção.

É possível notar, no teste horário, que o sinal na faixa de aproximadamente 750 nm de comprimento de onda, ocorre um aumento na transmissão, no espectro de praticamente todos os ângulos medidos. Já no teste anti-horário, é possível notar uma região de aumento do sinal para faixa de 575 nm, e entre 700 e 800 nm.

Para este sensor, os resultados também indicam possibilidade futura de sensoriamento buscando a identificação da deformação.

Figura 5 – Espectro de transmissão dos testes de torção do sensor de diâmetro variado. À esquerda, o gráfico torção anti-horária. À direita, o gráfico de torção horária.



Fonte: Próprio autor



## CONCLUSÕES

Os sensores propostos neste trabalho, mostraram potencial para aplicação futura na monitoração de deformações associadas com distensão e torção. Os resultados obtidos indicam a possibilidade de, a partir da análise das alterações espectrais medidas no espectro de transmissão no visível, identificar a magnitude e o sentido em que a deformação ocorre. Os resultados preliminares de caracterização dos sensores produzidos abriram possibilidades para trabalhos futuros do grupo utilizando os mesmos sensores e também adaptações.

## Agradecimentos

Agradeço a UTFPR e aos professores e colegas do LABLASER.

## Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

## REFERÊNCIAS

CARVALHO, Vinicius de. **Sistema de mapeamento de força com sensores de macrocurvatura em fibra ótica multiplexados**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2022. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/29618>

KAMIZI, M. A. et al. **Multiplexing optical fiber macro-bend load sensors**. Journal of Lightwave Technology, IEEE, v. 37, n. 18, p. 4858–4863, 2019.

BICKHAM, S. R. et al. **Theoretical and experimental studies of macrobend losses in multimode fibers**. In: CORNING. Proceedings 58th International. Wire & Cable Symposium. New York, USA, 2009. p. 450–457