

1

Introdução

1.1

Objetivo

Este trabalho tem como objetivo demonstrar o desenvolvimento de sensores ópticos usando fibras de cristais fotônicos (PCFs) em distintas aplicações. A ideia é demonstrar o uso de fibras PCF para construção, caracterização e aplicações a níveis comerciais de diferentes tipos de sensoriamento. Serão apresentados sensores de pressão hidrostática e de deformação usando fibras birrefringentes. Serão apresentados ainda, sensores de deformação e vibração usando cavidades Fabry-Perot intrínseca a fibra óptica, construídas com fibras de cristais fotônicos. Também demonstraremos sensores de índice de refração e de umidade para monitoramento de respiração utilizando fibras de cristais fotônicos.

A contribuição científica desta tese pode ser constatada através do desenvolvimento dos sensores aqui apresentados que resultou em apresentações em seis conferências (ver APÊNDICE A) e publicações em quatro revistas indexadas (ver APÊNDICE B). A inovação de cada sensor desenvolvido será apresentada nas seções desta tese que mostram o desenvolvimento dos sensores

1.2

Motivação

Nos últimos anos, o número de grupos de pesquisas e empresas interessadas em sensores as fibras ópticas vêm crescendo consideravelmente. Isso se deve ao fato de que as fibras ópticas são imunes aos campos eletromagnéticos, possuem diâmetro externo de $125 \mu m$, reagem quimicamente somente com ácido fluorídrico (HF), têm capacidade de multiplexação e podem operar em ambientes extremos [1]. Além do mais, equipamentos para esse sensoriamento estão tornando-se mais robustos e baratos, baixando, assim, o custo da produção e do sensoriamento com fibras. Sensoriamento com fibras

pode ser amplamente utilizado para medidas de pressão [2], deformação[3], vibração [4], temperatura [5], biossensores [6], gases [7], salinidade [8], entres outros.

Um dos primeiros sensores a fibra óptica foi apresentado em 1980 por J. N. Fields e colaboradores [9] que mediram a pressão externa através das medidas das perdas de transmissão óptica de uma fibra devido às pequenas dobras provocadas por uma espécie de mandíbula externa na fibra. Medidas de 500 lbs a 2000 lbs puderam ser realizadas usando esse dispositivo. Outra aplicação pioneira em sensoriamento, consistiu no monitoramento do sinal óptico devido às múltiplas reflexões da face de duas fibras monomodo separadas por uma distância, consistindo assim uma cavidade Fabry-Perot, [10]. Esse dispositivo foi utilizado para medidas de temperatura, vibração mecânica, ondas acústicas, voltagem e campos magnéticos.

Um avanço na tecnologia de sensores ocorreu com a descoberta das redes de Bragg em fibras (FBG). Esse tipo de tecnologia permitiu medidas de temperatura e deformação com uma grande precisão, e as perdas nas medidas também melhoraram consideravelmente. Esse tipo de sensor, até hoje é largamente utilizado devido a sua resposta quanto à variação de temperatura, que é próxima a $13 \text{ pm}/^\circ\text{C}$ para $\lambda = 1550,0 \text{ nm}$ e à sua resposta quanto à deformação, que é em torno de $1,2 \text{ 'pm}/\mu\epsilon$. [11].

O desenvolvimento de sensores a fibra óptica sofreu uma grande inovação a partir do ano de 1996 [12], quando pesquisadores da Universidade de Southampton (UK), fabricaram a primeira fibra de cristal fotônico (PCF), Fig. 1.1. A fibra é feita de sílica, e é constituída de uma estrutura periódica de buracos-ar, e um núcleo sólido para o guiamento da luz. Em 1999 R.F. Cregan e colaboradores [13], apresentaram uma fibra PCF que tinha a mesma estrutura periódica, porém, ao invés de um núcleo sólido, a fibra apresentava um núcleo oco, como pode ser visto na Fig. 1.2. Essa nova classe de fibras demonstrou ser promissora em diferentes aplicações, tais como sensoriamento, telecomunicações e óptica não-linear.

Os principais parâmetros que caracterizam uma fibra PCF podem ser vistos na Fig.1.3, onde os parâmetros geométricos são: diâmetro dos buracos de ar (d), e a distância entre o centro desses buracos pitch (Λ). Um outro parâmetro utilizado para caracterizar fibras PCFs é a relação entre o diâmetro dos buracos, e a distância entre os centros, $f = d/\Lambda$. Este fator f nos dá uma ideia da quantidade de sílica que está presente na área da seção reta da fibra.

A vantagem do uso em sensoriamento de fibras PCFs em relação às fibras convencionais (standard fiber), as quais são fabricadas com sílica pura na casca

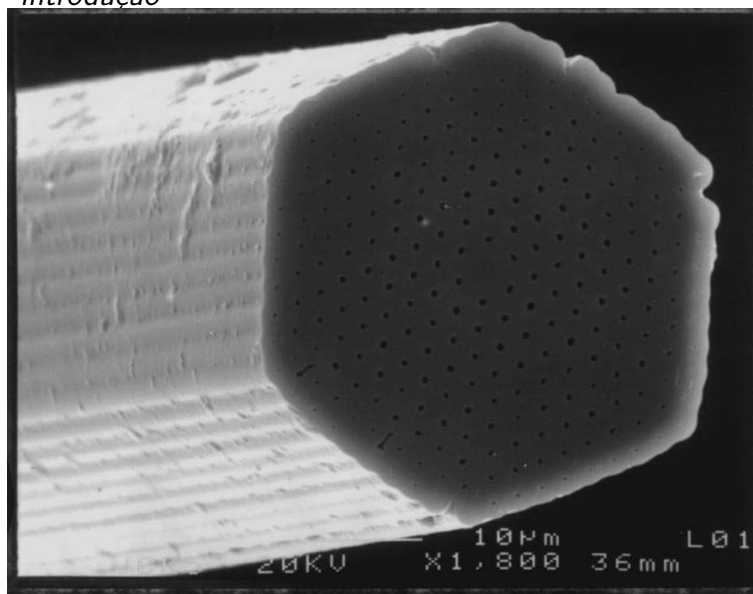


Figura 1.1: Seção reta da primeira fibra microestruturada [12].

e sílica dopada em seu núcleo, é a baixa dependência com a temperatura [14]. Outra vantagem que pode ser mencionada ao uso de fibras PCFs, está na resistência química ao hidrogênio, que a torna atrativa em aplicações a altas temperaturas e em ambientes ricos em hidrogênio. A geometria interna das PCFs pode ser alterada (buracos-sílica), aumentando a sensibilidade para medidas de pressão, deformação ou índice de refração. Neste trabalho apresentaremos alguns sensores a fibra óptica.

Um parâmetro importante em medidas, tais como na perfuração e extração de petróleo, é a pressão hidrostática. Atualmente, sensores que fazem esse tipo de medida, ou têm uma dependência com a temperatura, ou realizam uma medida indireta monitorando a deformação de um material e a convertendo em pressão. No segundo capítulo desta tese apresentamos sensores de pressão e deformação a fibra com alta birrefringência e com baixa dependência a temperatura. O sensor foi desenvolvido a partir da interferência de modos em alguns centímetros de fibra PCF com alta birrefringência (HiBi). A interferência é obtida acoplando na fibra luz polarizada num ângulo de 45° em relação a qualquer um dos eixos de propagação. Desta forma, parte da luz propaga-se no eixo lento da fibra (eixo com maior índice de refração), e parte no eixo rápido (eixo com menor índice de refração), apresentando um padrão de interferência no sinal medido. Testes de pressão hidrostática, deformação e temperatura serão apresentados e discutidos neste capítulo. Esta parte do trabalho foi desenvolvida nos laboratórios de Optoeletrônica (LopEL), Departamento de Física PUC-Rio, e Laboratório de Sensores a Fibra Óptica

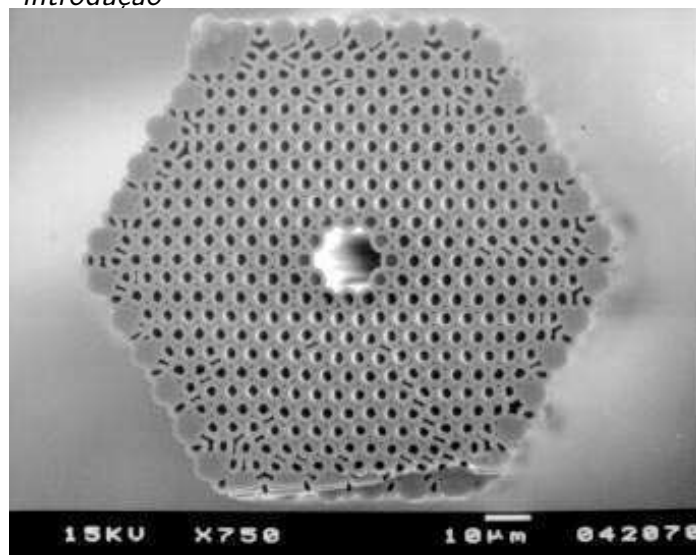


Figura 1.2: Estrutura da face da primeira PCF hollow-core. A luz propaga-se dentro do núcleo oco da fibra por Band-Gap fotônico [13].

(LSFO), Departamento de Engenharia Mecânica PUC-Rio.

Sensores que apresentam uma sensibilidade maior em medidas de sensoriamento tornam-se essenciais num mercado cada vez mais competitivo. No terceiro capítulo, apresentamos sensores de deformação de fácil fabricação e com baixo custo de produção, pois os mesmos usam apenas poucos milímetros de fibras PCFs. O sensor demonstrado faz o uso de interferômetro Fabry-Perot em fibra para monitoramento de deformação. Um novo conceito na fabricação e controle do tamanho e forma da cavidade Fabry-Perot é apresentado. Testes de deformação e temperatura são discutidos, bem como a forma da cavidade e o controle do seu tamanho.

Em poucos anos, uma grande preocupação a realização de medidas de deformação e intrusão alcançou um grande interesse, devido principalmente, aos recentes desastres naturais que ocorreram em diversos países, como tsunamis, terremotos, etc. Demonstramos ainda no terceiro capítulo, um sensor de vibração, usando como elemento sensor uma cavidade Fabry-Perot similar. Um dispositivo para medidas de vibração usando um interferômetro Fabry-Perot foi proposto, e os resultados, bem como as análises são apresentados e discutidos neste capítulo.

O interesse que as indústrias, principalmente química e farmacêutica possuem em sensores que medem índice de refração, fez com que esse tipo de sensoriamento se transformasse em uma área promissora. No quarto capítulo, demonstramos um sensor de índice de refração usando, para isso, poucos milímetros de fibra PFC. O sensor foi desenvolvido criando duas

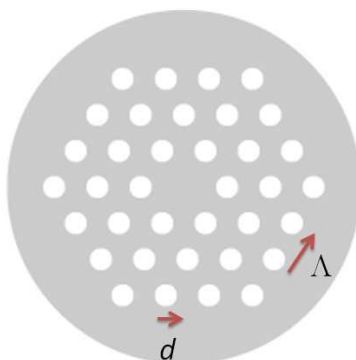


Figura 1.3: Estrutura da face de uma fibra microestruturada, onde d é o diâmetro dos buracos e Λ é a distância do entres dois buracos medidos a partir do seu centro.

regiões controladas de colapsos na fibra PCF. Esses colapsos foram feitos controladamente, para se obter o padrão de interferência desejado. Parte da luz que é guiada na fibra se propaga na casca, sendo assim, sensível à mudança de índice de refração do meio externo. Medidas de índices de refração são apresentadas e discutidas nesse capítulo.

Muitas pessoas sofrem de distúrbios respiratórios, como por exemplo a apnéia sendo um risco à vida durante o sono. Com intuito de construir um sensor que possa sensoresar esses distúrbios, demonstramos também no quarto capítulo, o primeiro sensor de umidade para monitorar a respiração usando fibra PCF. O dispositivo aqui demonstrado é muito similar ao demonstrado no início do capítulo quatro, com pequenas mudanças, focando em medidas de umidade, a qual está presente na respiração humana. Um dispositivo foi desenvolvido, para realização de medidas de respiração em pacientes. Os resultados e análises são aqui apresentados e discutidos nesse capítulo.

No quinto capítulo são apresentados as conclusões sobre resultados obtidos na tese, assim como propostas de trabalhos futuros. O APÊNDICE contém os trabalhos publicados relacionados com a tese. A pesquisa descrita neste trabalho foi parcialmente desenvolvida no Instituto de Ciências Fotônicas, Barcelona-Espanha, sobre a orientação do Prof. Válerio Pruneri, e co-orientação do Dr. Joel Villatoro, dentro de um programa de doutorado sanduíche financiado pela Capes.