

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

ANDRÉ HENRIQUE BESSA PEREIRA

## **STRAIN GAGE ÓPTICO, FUNCIONAMENTO E APLICAÇÕES**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA  
2016

ANDRÉ HENRIQUE BESSA PEREIRA

## **STRAIN GAGE ÓPTICO, FUNCIONAMENTO E APLICAÇÕES**

Monografia de Especialização, apresentado ao Curso de Especialização em Automação Industrial, do Departamento Acadêmico de Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Dr. Valmir de Oliveira

CURITIBA  
2016

Dedico este trabalho a meus pais, que ajudaram a formar meu caráter e ser quem sou hoje, sem o apoio e incentivo deles não conseguiria chegar onde estou.

## **AGRADECIMENTO(S)**

Agradeço a UTFPR e a todos os professores do curso, pois foi graças a dedicação e esforço de todos que foi possível desenvolver esses novos conhecimentos e desenvolver este trabalho.

“No início, a observação de refratividade foto-induzido em fibras era apenas uma curiosidade científica, mas ao longo do tempo se tornou a base para uma tecnologia que tem agora um amplo e importante papel nas comunicações ópticas e em sistemas de sensores.” (HILL, et al., 1997).

## RESUMO

PEREIRA, André. **Strain Gage Óptico, Funcionamento e Aplicações**. 2016. 27 páginas. Monografia (Curso de Especialização em Automação Industrial), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

A muito tempo o homem tem usado sinais luminosos como meio de comunicação seja por meio de luz refletida em espelhos ou de um farol para guiar navios. Contudo esses métodos eram muito limitados e dependiam de uma visada direta e poderiam ser prejudicados por fenômenos naturais como chuva, neblina e poeira. Os estudos do uso da luz evoluíram muito e novas tecnologias foram desenvolvidas como a fibra óptica que permite que o sinal óptico seja transmitido por longas distâncias sem sofrer com os fenômenos naturais e fazer curvas, essa tecnologia inicialmente foi muito usada em telecomunicações, porém atualmente sua utilidade está se expandindo, pois já existem sensores feitos com fibra óptica.

Nesse trabalho será feita uma análise dos sensores de deformação em Redes de Bragg, veremos suas principais características, vantagens e como funciona, também serão citadas algumas de suas aplicações.

Com as informações aqui encontradas é possível se tomar conhecimento de como os sensores baseados em fibra óptica funcionam suas principais vantagens e limitações e onde são usados, informações de grande utilidade considerando que esta é uma tecnologia inovadora que será muito mais utilizada.

**Palavras chave:** Redes de Bragg, Fibra Óptica, Comunicação.

## ABSTRACT

PEREIRA, André. **Strain Gage Optical, Operation and Applications**. 2016. 27 páginas. Monografia (Curso de Especialização em Automação Industrial), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

A long time man has used light signals as a means of communication is through light reflected in mirrors or a lighthouse to guide ships. However, these methods were limited and depended on a direct target and could be affected by natural phenomena such as rain, fog and dust. Studies of the use of light evolved significantly and new technologies have been developed such as optical fiber that allows optical signal to be transmitted over long distances without suffering with natural phenomena and make turns, this technology was initially widely used in telecommunications, presently put his utility is expanding because there are already sensors made with fiber optics. In this study will be an analysis of the strain sensors in Bragg grating, will see its main features, advantages and how it works, they are also cited some of its applications.

With the information provided here is possible to take note of how the fiber optic-based sensors work their main advantages and limitations and where they are used, useful information considering that this is an innovative technology that will be much used.

**Keywords:** Bragg Gratings, Optical fiber, Communication.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Luz guiada no interior do jato de água.....	10
Figura 2 – Representação da propagação da luz na fibra.....	12
Figura 3 - Fibra Óptica com capa.....	13
Figura 5 – Representação do funcionamento de um sensor FBG.....	16
Figura 6 - equação 2 (National Instruments).....	16
Figura 7 - Sensor de temperatura.....	17
Figura 8 - Sensor de Deformação.....	18
Figura 9 Analisador de Espectro Ótico Fonte - Hewlett-Packard.....	18
Figura 10 - Interrogador Ótico Fonte - (Fiberpro).....	19
Figura 11 - Valores obtidos experimentalmente para o comprimento de onda de Bragg e.....	20
Figura 12 - Valor médio do comprimento de onda de Bragg em função da temperatura e incertezas (OLIVEIRA, 2013).....	21
Figura 13 - Sensor FBG de Deformação com Compensação de temperatura.....	21
Figura 14 - Medição de deformação com compensação de temperatura.....	22
Figura 15 - Diagrama do esquema para a medição de tração do sensor FBG.....	23
Figura 16 - Comprimento de onda em (nm).....	23
Figura 17 - Comprimento de onda em passos de $50\mu\epsilon$ .....	24



## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

FBG	Rede de Bragg em Fibra ( <i>Fiber Bragg Grating</i> )
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
OSA	Analisador de Espectro Óptico ( <i>Optical Spectrum Analyser</i> )
TDM	Multiplexagem por Divisão de Tempo ( <i>Time Division Multiplex</i> )

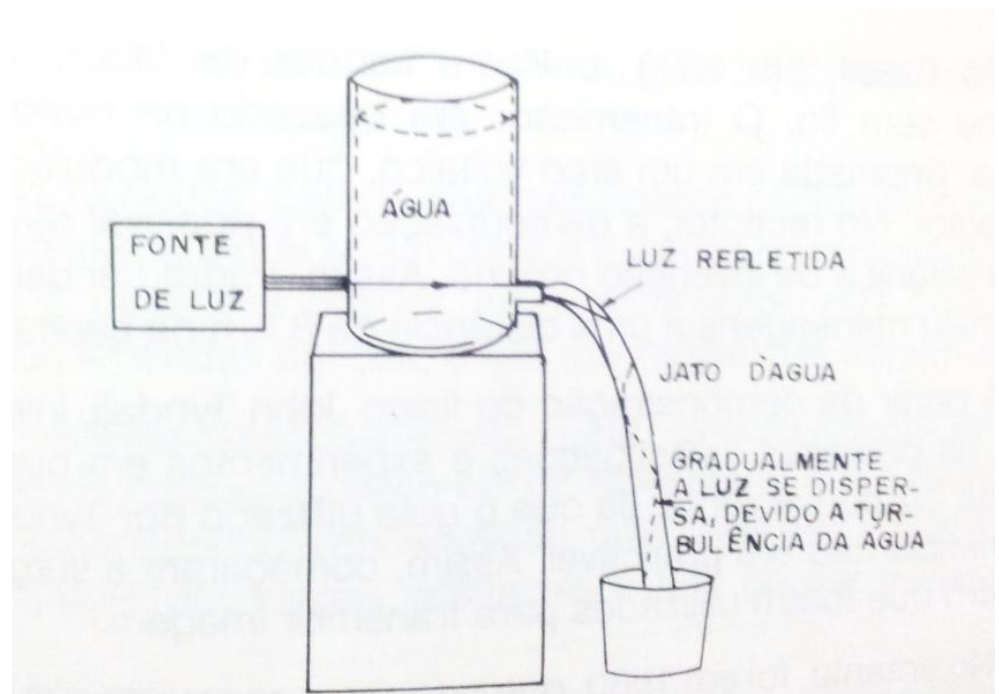
# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.1	OBJETIVOS E MOTIVAÇÃO .....	11
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	11
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>12</b>
2.1	Fibra Óptica.....	12
2.2	REDES DE BRAGG EM FIBRA ÓPTICA .....	15
2.3	Leitura do Sensor FBG.....	18
2.4	APLICAÇÕES.....	19
2.4.1	DEFORMAÇÃO MECÂNICA DE VERNIZ ACRÍLICO DURANTE A SECAGEM 19	
2.4.2	MONITRAÇÃO DA SAÚDE ESTRUTURAL DE PONTES .....	21
2.4.3	MONITORAMENTO DE BARRAGENS HIDRELETRICAS.....	22
2.4.4	SENSOR DE TRAÇÃO.....	22
<b>3</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>25</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>26</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Desde a antiguidade sinais de luz refletidos por espelhos foram utilizados como um meio de comunicação e mesmo mais recentemente com faróis para guiar navios no oceano. Porém esses meios não são muito eficientes, pois as fontes de luz dependem de uma visada direta e sua transmissão na atmosfera pode ser muito prejudicada por fenômenos naturais como chuva, nevoeiros, poeira, o que limitava seu uso a curtas distâncias (COSTA, 1992).

Em 1854 o físico britânico John Tyndall, popularizou um experimento desenvolvido pelos físicos Daniel Colladon e Jacques Babinet, que mostraram que a luz poderia ser guiada por um jato de água. Em seu experimento John Tyndall mostrou ao público um feixe de luz sendo guiado por um jato de água que fluía de um tanque fazendo uma curvatura, esse fato impressionou quem presenciou a experiência, pois não era esperado que o sinal luminoso acompanhasse a curva, como podemos ver na figura 1. Em seguida, foram feitas muitas pesquisas sobre o assunto até que se chegou ao desenvolvimento das fibras ópticas (PATYK, 2010).



**Figura 1 - Luz guiada no interior do jato de água.**  
Fonte - (PATYK, 2010)

Houve um avanço nessa área em 1960 devido à invenção do raio laser, que é uma fonte de luz que pode ser modulada em alta frequência. No entanto, mesmo

que o laser tivesse baixa divergência no feixe produzido, os problemas da atmosfera ainda limitavam seu uso a uma curta distância. Assim em 1966 C. Kao e G. Hockham propuseram fibras ópticas como meio de transmissão, evitando assim a degradação do sinal na atmosfera. (COSTA, 1992).

As fibras ópticas foram desenvolvidas e inicialmente utilizadas em sistemas de telecomunicações, elas funcionam com a condução da luz para transmitir informação. Porém, seu uso tem se expandido e atualmente existem sensores baseados nessa tecnologia (NAVARRO, 2014). Será abordado nesse trabalho o tema de Sensores de deformação usando Redes de Bragg em fibras ópticas. Essa tecnologia se adequa perfeitamente aos novos materiais compostos de vidro e carbono, que são muito utilizados na construção de aviões e usinas eólicas (KREUZER, 2006). Primeiramente, serão descritas as fibras ópticas apresentando algumas vantagens de sua utilização. Em seguida, serão apresentados o funcionamento dos sensores FGB (*Fiber Bragg Grating*) e aplicações para esses sensores.

## 1.1 OBJETIVOS E MOTIVAÇÃO

O objetivo deste trabalho é analisar o funcionamento dos Sensores de deformação utilizando Redes de Bragg em fibras ópticas. Serão mostradas as suas principais características e vantagens. A motivação para esse trabalho está no fato de que essa tecnologia apresenta vantagens em relação aos sensores elétricos, pois o sinal está codificado em luz. Isso possibilita sua utilização em locais com risco de explosão ou com forte interferência eletromagnética. Assim sendo, logo essa tecnologia irá ser muito utilizada, por isso um estudo para conhecer seu funcionamento se torna importante.

## 1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho terá a estrutura abaixo apresentada.

**Capítulo 1 - Introdução:** serão apresentados o tema, o objetivo da pesquisa, sua motivação e a estrutura geral do trabalho.

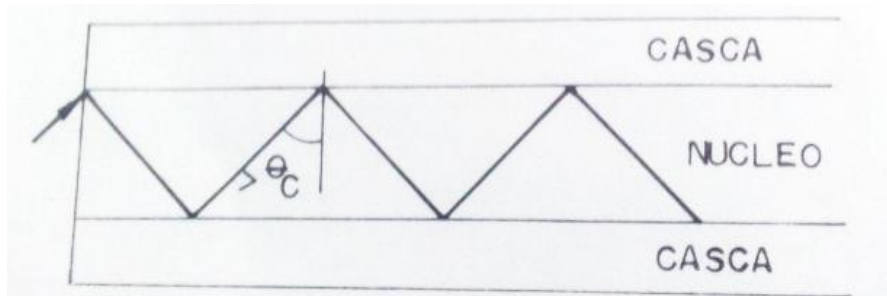
**Capítulo 2 – Fundamentação Teórica:** serão apresentadas informações sobre o que é fibra óptica e algumas vantagens, em seguida falaremos dos sensores FBG será feita uma descrição de sua estrutura e de seu funcionamento e serão citadas algumas aplicações.

**Capítulo 3 – Considerações finais:** será feita uma conclusão sobre o conteúdo do trabalho desenvolvido.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Fibra Óptica

As fibras ópticas são meios dielétricos formados por núcleo e casca, que conduzem luz. Apresentam seção transversal cilíndrica e são constituídas basicamente de sílica, a parte central é denominada núcleo, constituído de sílica levemente dopada e o material a sua volta é a casca, formado por sílica pura. O núcleo possui um índice de refração maior que a casca e essa diferença permite que a luz possa se propagar ao longo do núcleo, como pode ser visto na figura 2 (TABINI, 1990).



**Figura 2 – Representação da propagação da luz na fibra.**  
Fonte - (TABINI, 1990)

Além daquelas duas partes a fibra óptica também possui uma terceira camada chamada de capa que serve para proteger o material, como visto na figura 3 (TABINI, 1990). Embora a figura 3 mostre casca e núcleo separadas, é somente para efeitos didáticos pois são produzidos em sílica através de processos em altas temperaturas da ordem de 2000 °C.

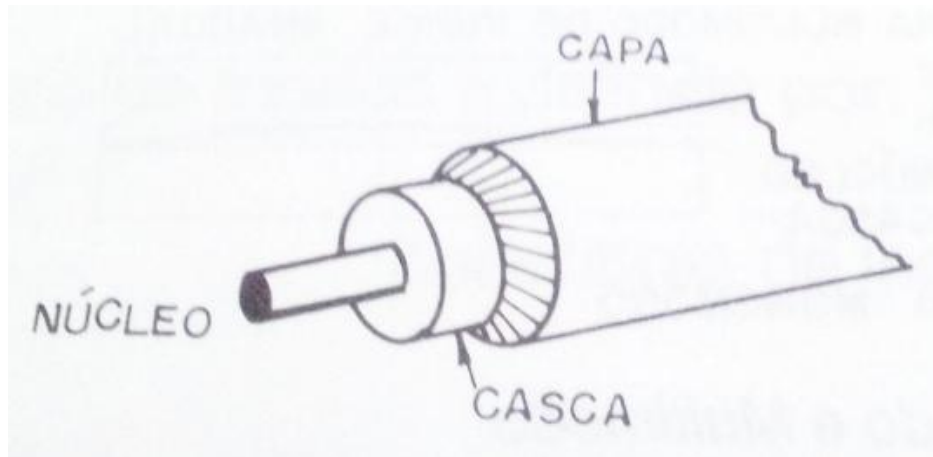


Figura 3 - Fibra Óptica com capa.  
Fonte - (TABINI, 1990)

## Vantagens

Existem muitas vantagens na utilização das Fibras Ópticas. Tais vantagens serão mostradas na sequência.

**Baixa Atenuação** – Existe baixa perda do sinal isso permite que se possa ter um seguimento de maior alcance sem necessidade de repetidores, gerando economia de custo na compra ou manutenção desses equipamentos (TABINI, 1990).

**Largura de Banda** – Possui grande taxa de transmissão superando em muito a capacidade apresenta pelos cabos metálicos (TABINI, 1990).

**Redução de tamanho e peso** – A fibra tem um diâmetro muito menor que os cabos convencionais, além de seu material ser mais leve, isso resulta em economia de transporte e armazenamento e necessita de menos espaço para instalação (RIBEIRO, 2003).

**Sigilo na transmissão** – É difícil retirar ou lançar um sinal óptico ao longo da fibra sem danificar o sistema ou gerar interrupção momentânea na transmissão. Dessa forma esse se torna um meio de comunicação muito seguro (TABINI, 1990).

**Imune a interferências eletromagnéticas** – Por ser feita de material dielétrico, não é possível que sinais elétricos próximos possam ser induzidos na fibra óptica. Este fato permite sua instalação em ambientes na presença de elevada

interferência eletromagnéticas, sem perder qualidade na transmissão. Podem ser aplicadas em locais próximos a motores e geradores de energia sem apresentar problema de transmissão (RIBEIRO, 2003).

**Disponibilidade de Matéria Prima** – Pode ser constituída de Sílica ( $\text{SiO}_2$ ), um material muito abundante no planeta, também é usado o quartzo cristalino, do qual o Brasil possui uma gigantesca reserva.

### **Limitações**

A pesar de todas as vantagens das fibras ópticas, também existem algumas limitações e dificuldades a serem observadas, mostradas a seguir.

**Não conduz corrente elétrica** – Em algumas ocasiões isso pode ser uma vantagem como visto anteriormente, porém há casos que pode ser um inconveniente, como quando se necessita alimentar um equipamento eletrônico intermediário ou em suas extremidades, sendo necessário que sejam colocados cabos condutores para alimentar esses equipamentos (RIBEIRO, 2003).

**Custo elevado para pequenos sistemas** – Para sistemas de pequena distância e de baixa banda o custo pode ser maior que o empregado com cabos convencionais, só sendo justificável quando forem exigidas outras qualidades da fibra como imunidade a interferências eletromagnéticas em ambientes com muito ruído (RIBEIRO, 2003).

**Dificuldade nas emendas e conectores** – A emenda das fibra óptica é mais complexa que a dos fios de cobre, pois para se fazer a emenda é necessário uma máquina de fusão, que pode ligar duas pontas de fibra quase perfeitamente. Contudo o custo é muito elevado devido a grande precisão e o baixíssimo valor de perda que deve ser garantido na emenda. Existe uma grande dificuldade na ligação dos conectores, pois para sua colocação é preciso garantir uma grande precisão na posição da fibra para se evitar perde de potência nesses pontos (RIBEIRO, 2003).

## 2.2 REDES DE BRAGG EM FIBRA ÓPTICA

A fotossensibilidade da fibra óptica foi descoberta em 1978 pelo grupo de Kenneth O. Hill, no Centro canadense de pesquisas em comunicação, essa característica foi a chave para o desenvolvimento da tecnologia de sensoriamento baseados em redes de Bragg em fibra. Ao se expor uma fibra de sílica dopada com germânio a um laser de argônio é observado o aumento da intensidade da luz refletida. Isso resulta em uma alteração nos índices de refração da sílica, fenômeno denominado de fotossensibilidade. Na região com grande intensidade de iluminação o nível de refração do núcleo da fibra é alterado permanentemente, o que gera uma modulação especial periódica do índice de refração do núcleo. Essa modulação atua como um conjunto de refletores que acoplam o modo propagante com o contrapropagante (HILL, et al., 1978). O dispositivo resultante desse processo inicialmente foi chamado de redes de Hill.

Inicialmente a fotossensibilidade foi considerada apenas uma curiosidade científica, porém com o tempo, se tornou a base de uma tecnologia que tem um amplo papel nas telecomunicações e de sensores (HILL, et al., 1997).

As redes de Hill estavam limitadas a forma de onda do laser de argônio de 488 nm, que só obtém resultados satisfatórios em dispositivos maiores (por volta de 1m de comprimento) (OLIVEIRA, 2013).

No ano de 1981, Lam e Garside demonstraram que a fotossensibilidade descoberta por Hill tinha relação com a absorção de dois ftons do laser de argônio na faixa de 488 nm. Por isso chegou-se à conclusão de que para se alterar o índice de refração com mais eficiência, poderia ser usada a luz ultra violeta a 244 nm. Em 1993 foi proposta uma técnica de gravação de redes de Bragg que consiste em expor a fibra a um padrão de interferência gerado por uma máscara de fase. As maiores vantagens desse método é a facilidade de alinhamento e um padrão estável possibilitando a fácil reprodução da rede. Porém o período dessa gravação é dependente do período da máscara usada no processo (OLIVEIRA, 2013).

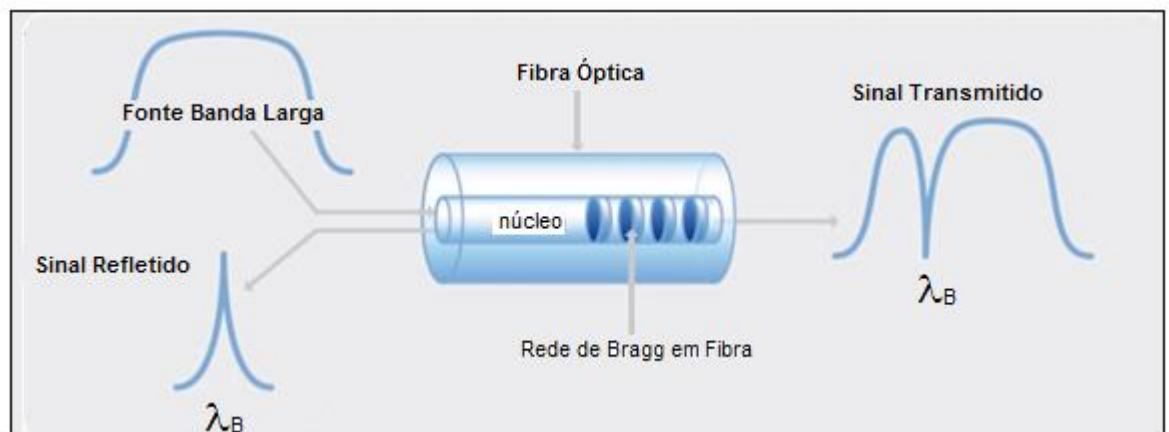
Os sensores FBG (*Fiber Bragg Grating*), refletem um comprimento de onda da luz em específico, chamado de comprimento de onda de Bragg, que é descrito pela equação 1. Onde  $\lambda_B$  é o comprimento de onda de Bragg,  $\eta_{\text{eff}}$  representa o



índice de refração efetivo do núcleo da fibra e  $\Lambda$  é o período entre as mudanças do índice de refração no núcleo da fibra.

$$\lambda_B = 2\eta_{\text{eff}} \cdot \Lambda \quad (1)$$

A Figura 5 mostra o funcionamento de um sensor FBG. Um sinal óptico de banda larga é aplicado no núcleo da fibra óptica e ao encontrar a rede de Bragg sofre reflexão em uma banda estreita de comprimento de onda centrado em  $\lambda_B$ . A utilização de rede de Bragg como sensor está baseada no desvio no  $\lambda_B$  provocado pela variável física sob medição.



**Figura 4 – Representação do funcionamento de um sensor FBG**  
 Fonte – Modificado de (National Instruments).

Variações na temperatura e deformações no sensor, afetam o índice de refração e o período das redes, resultando numa alteração no comprimento de onda que é refletido, essa mudança no comprimento de onda pode ser aproximadamente calculada pela equação da Figura 6, onde podemos ver a equação 2.

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = (1 - p_e) * \varepsilon + (\alpha_\Lambda + \alpha_n) * \Delta T \quad (2)$$

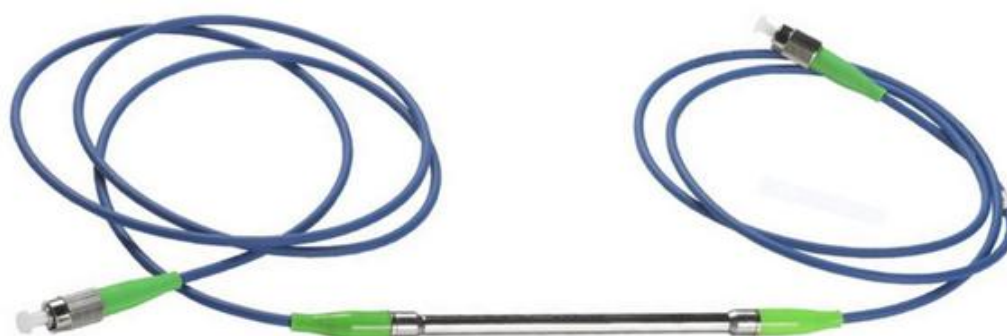
**Figura 5 - equação 2 (National Instruments)**

Na Figura 6  $\Delta\lambda$  representa a mudança do comprimento de onda e  $\lambda_0$  é o comprimento de onda inicial. No primeiro termo da expressão  $p_e$  é o coeficiente de deformação óptica e  $\varepsilon$  é pressão sofrida pela grade, isto representa o impacto da

preção sobre o comprimento de onda. Já na segunda parte da expressão  $\alpha_\Lambda$  é o coeficiente de expansão térmica e  $\alpha_\eta$  é o coeficiente termo-óptico. Essa parte da expressão descreve o impacto da temperatura sobre o comprimento de onda. Sendo que  $\alpha_\eta$  descreve a alteração no índice de refração e  $\alpha_\Lambda$  descreve a expansão na grade por causa da temperatura. O  $\Delta T$  no fim da expressão é a variação de temperatura.

Podemos usar essa tecnologia para medir temperatura e deformação, pois esse tipo de sensor sofre interferências por mudanças de temperatura como por deformações, assim no caso de utilização para medir temperatura, é necessário garantir que não haja nenhuma tração na FBG para não interferir na medição, desse modo a variação térmica pode ser determinada pela mudança no índice de refração  $\alpha_\eta$  da fibra. O processo de medição de deformação já se torna mais complexo pois deve-se compensar a possível variação de temperatura no ambiente de operação, isso pode ser feito instalando-se um sensor de temperatura junto ao de deformação, depois faz-se a subtração da mudança do comprimento de onda do sensor de temperatura FBG com a alteração obtida com o FBG de deformação assim se obtém um valor compensado de temperatura e deformação compensado, isso elimina o segundo termo da expressão sobrando apenas o efeito causado pela deformação.

A seguir temos imagens de sensores comerciais, na Figura 7 podemos ver um sensor de temperatura a seguir temos na Figura 8 o sensor de deformação.



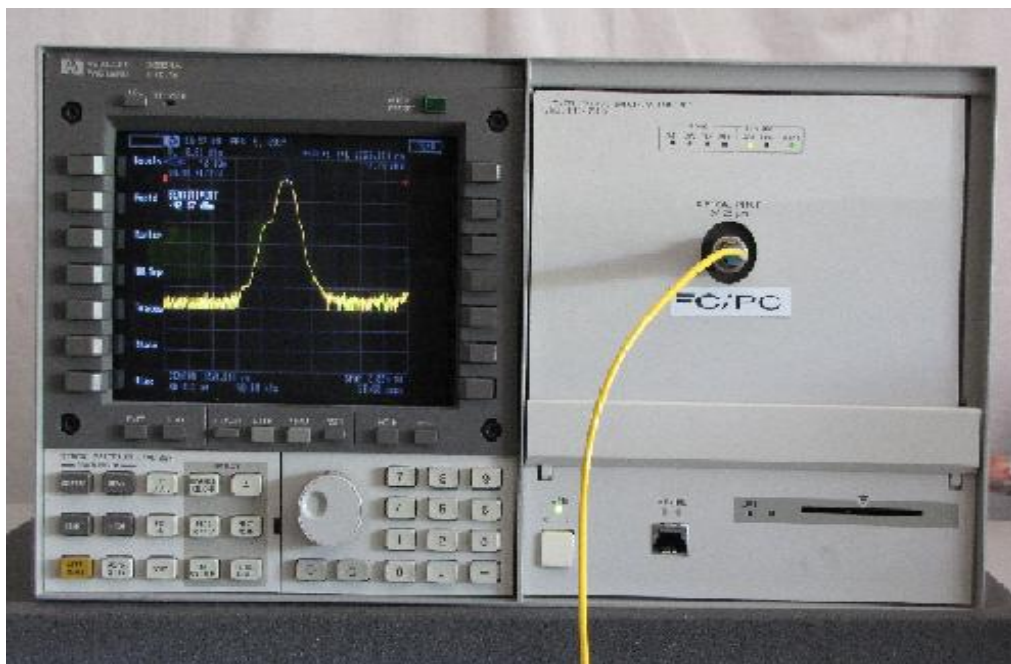
**Figura 6 - Sensor de temperatura**  
Fonte - (Cindtechs).



**Figura 7 - Sensor de Deformação**  
Fonte - (HBM)

### 2.3 Leitura do Sensor FBG

Para se realizar as medições da variação de forma de onda de Bragg é necessário a utilização de equipamentos que possam fazer essa leitura. Os equipamentos mais utilizados são o interrogador óptico e o analisador de espectro óptico. O analisador de espectro óptico (OSA) é um equipamento de uso geral para monitoração da potência em sistemas ópticos enquanto que os interrogadores ópticos são específicos para leitura de sensores FBG. A Figura 9 mostra um OSA comercial da HP.



**Figura 8 Analisador de Espectro Óptico** Fonte - Hewlett-Packard

Segundo WIRTH (1994) citado por ARCARI (2010), o analisador de espectro óptico é um instrumento que tem a capacidade de medir a potência óptica em diversos comprimentos de onda distintos. Assim é possível analisar o comportamento de dispositivos óticos em todos os comprimentos de onda ou ainda em um comprimento isolado. Para isso este aparelho usa uma técnica denominada de multiplexação por divisão de espectro, que consiste em separar o espectro de sinal recebido em diversas janelas de medida.

Outro equipamento usado é o Interrogador Óptico como pode ser visto na Figura 10.



**Figura 9 - Interrogador Óptico Fonte - (Fiberpro).**

O Interrogador Óptico, no processo de medição, primeiro envia um sinal de luz na fibra, este chega até o sensor FGB e então é refletido para o equipamento. Do sinal refletido é determinada a posição em comprimento de onda do pico do espectro o qual é comparado com o sinal de referência. Em casos onde existam mais de um sensor em uma única fibra o instrumento utilizara um sistema de multiplexagem de tempo conhecido pela sigla (TDM) este sistema consiste em comparar o tempo de retorno da reflexão de luz na fibra para a partir dessa diferença determinar as posições dos sensores e saber de qual deles e cada um dos sinais recebidos (Micron Optics).

## **2.4 APLICAÇÕES**

### **2.4.1 DEFORMAÇÃO MECÂNICA DE VERNIZ ACRÍLICO DURANTE A SECAGEM**

Foi feita a monitoração da deformação de verniz acrílico durante sua secagem. Para esse acompanhamento foram usadas duas redes de Bragg uma atuando como sensor de temperatura e outra como sensor de deformação, durante os testes não foi necessária nenhuma encapsulação especial do sensor. Com o FBG foi possível obter informação das deformações mecânicas sofridas durante o processo de secagem do verniz. O método de montagem permitiu identificar cada etapa da secagem: a evaporação da água e aumento da densidade provocando a aderência do verniz a fibra; dilatação devido a tensão superficial gerada pela formação de película na superfície, contração devido a aproximação e deformação das partículas e pôr fim a formação de um filme contínuo (OLIVEIRA, 2013).

A seguir podemos ver a Figura 11 mostrando o comprimento de onda de Bragg em função da temperatura e em seguida a Figura 12 mostrando o cálculo com as incertezas previstas no desvio padrão (OLIVEIRA, 2013).

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Ciclo 1 <math>\lambda_B</math> (nm)</b>	<b>Ciclo 2 <math>\lambda_B</math> (nm)</b>	<b>Ciclo 3 <math>\lambda_B</math> (nm)</b>
10,0	1545,932	1545,918	1545,927
15,0	1545,977	1545,964	1545,973
20,0	1546,022	1546,011	1546,021
25,0	1546,068	1546,059	1546,068
30,0	1546,114	1546,106	1546,114
35,0	1546,162	1546,155	1546,163
40,0	1546,212	1546,206	1546,213
45,0	1546,261	1546,256	1546,263
50,0	1546,310	1546,304	1546,313
55,0	1546,362	1546,356	1546,363
60,0	1546,414	1546,408	1546,415

**Figura 10 - Valores obtidos experimentalmente para o comprimento de onda de Bragg e função da temperatura (OLIVEIRA, 2013)**

Temperatura (°C)	Valor médio do $\lambda_B$ (nm)	$\sigma_m$ (nm)	$\sigma$ (nm)
10,0	1545,926	0,007	0,007
15,0	1545,971	0,007	0,007
20,0	1546,018	0,006	0,006
25,0	1546,065	0,005	0,005
30,0	1546,111	0,005	0,005
35,0	1546,160	0,004	0,004
40,0	1546,210	0,004	0,004
45,0	1546,260	0,004	0,004
50,0	1546,309	0,005	0,005
55,0	1546,360	0,004	0,004
60,0	1546,412	0,004	0,004

Figura 11 - Valor médio do comprimento de onda de Bragg em função da temperatura e incertezas (OLIVEIRA, 2013)

#### 2.4.2 MONITRAÇÃO DA SAÚDE ESTRUTURAL DE PONTES

O sensor FBG também pode ser usado para monitorar a estrutura de pontes, tanto fixas como pontes moveis. Sendo possível verificar temperatura, deslocamento, deflexão e deformação estrutural. A seguir podemos ver na Figura 13 um sensor de deformação com compensação de temperatura e logo depois na Figura 14 um gráfico mostrando a forma de onda medida e a deformação sofrida (NAVARRO, 2014).



Figura 12 - Sensor FBG de Deformação com Compensação de temperatura  
Fonte - (NAVARRO, 2014)

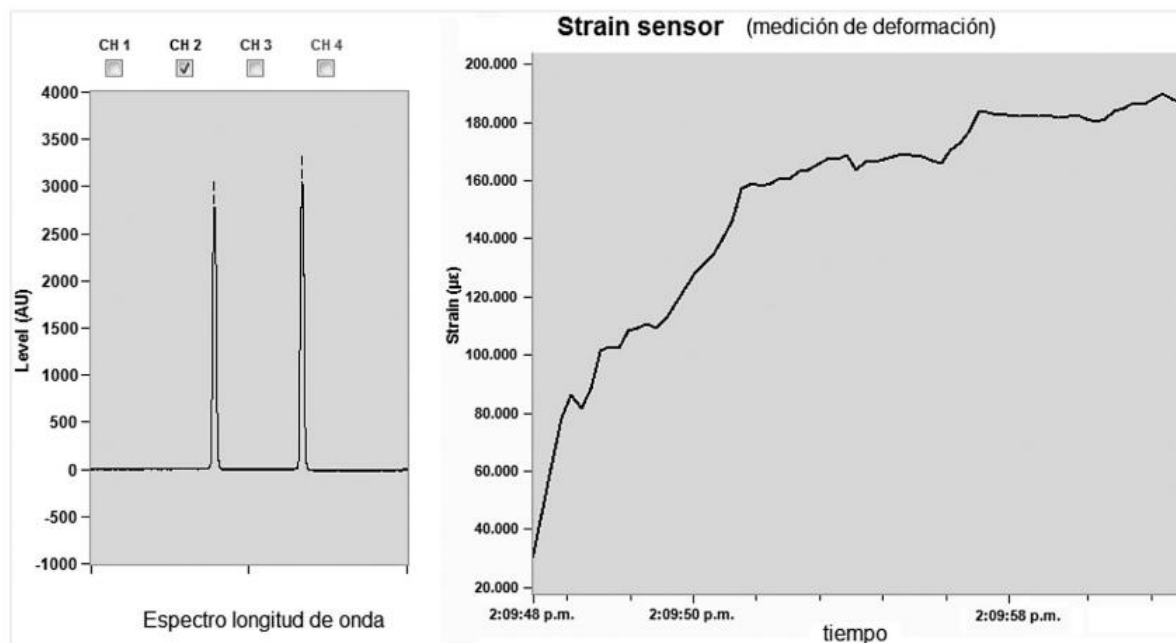


Figura 13 - Medição de deformação com compensação de temperatura  
 Fonte - (NAVARRO, 2014)

### 2.4.3 MONITORAMENTO DE BARRAGENS HIDRELETRICAS

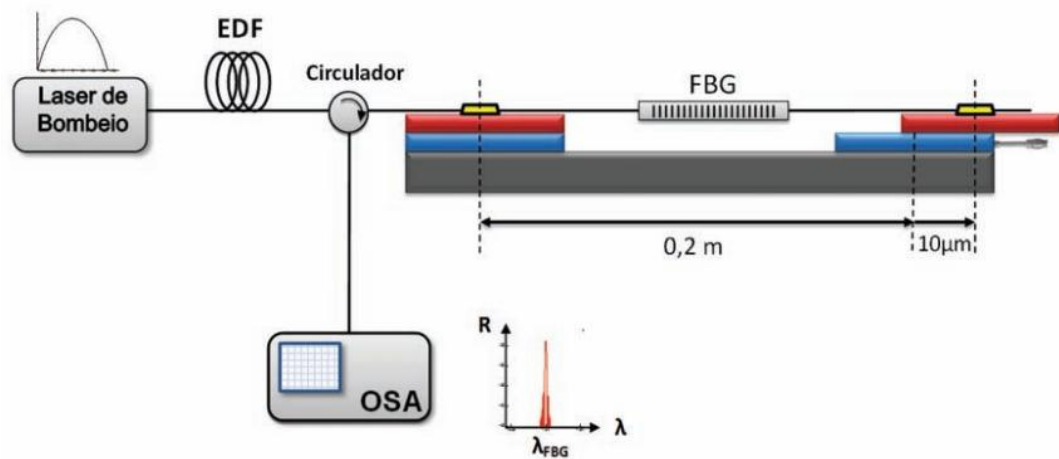
Outro uso da tecnologia e na monitoração de barragens hidrelétricas, com o uso desse sistema é possível ter uma maior precisão nas medições sendo feitas medidas de vazão de infiltração, deslocamento e deformação de juntas, a dilatação de fissuras e trincas, o nível de pressão de água etc. Esse método já foi implementado em duas usinas no Sul do país: Foz do Chapecó e Barra Grande (AGÊNCIA GESTÃO CT&I, 2015).

### 2.4.4 SENSOR DE TRAÇÃO

Um estudo foi feito para demonstrar a precisão da medição desse tipo de sensor, para isso o FBG foi usado como sensor de tração, os testes foram realizados em um ambiente com temperatura controlada para que esse parâmetro não interferisse nos resultados. Foram feitos testes experimentais de tração, a estrutura utilizada para o experimento é composta por uma fonte óptica de bombeio, nesse caso um laser, uma fibra dopada com érbio, um circulador óptico, o FBG e o analisador de espectro ótico. Todo o esquema montado pode ser visto na figura 14. Como pode ser visto na figura o FBG foi colocado entre duas placas na bancada

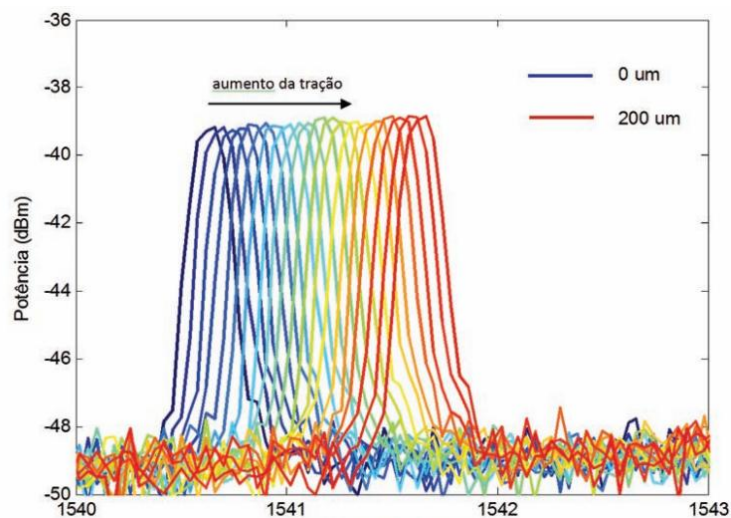


sendo que uma destas está fixa e a outra é móvel, podendo mover-se na escala de micrometros em passos de 10  $\mu\text{m}$ . Este fato permite que seja possível fazer testes com uma variação de tração do sensor FBG indo de 0  $\mu\text{m}$  até chegar aos 200  $\mu\text{m}$  (Enríquez, et al., 2012).



**Figura 14 - Diagrama do esquema para a medição de tração do sensor FBG**  
 Fonte - (Enríquez, et al., 2012)

Na Figura 16 podemos analisar o resultado das medidas feitas com uma variação de tração no passo de 10  $\mu\text{m}$ . Na figura podemos ver que ocorre um deslocamento no comprimento de onda conforme a tração aumenta (Enríquez, et al., 2012).



**Figura 15 - Comprimento de onda em (nm)**  
 Fonte - (Enríquez, et al., 2012)



Porém para se fazer cálculos e comparar os resultados desse experimento foi necessário usar uma outra escala de medida o *microstrain* ( $\mu\epsilon$ ), está é uma unidade que mede a tração que equivale a uma parte por milhão da deformação produzida, no caso a tração submetida foi de 0,20m com passos de 10 $\mu$ m os passos em microstrain foram de 50 $\mu\epsilon$ , ou seja,

$$1\mu\text{m}/\text{m} = 1\mu\epsilon$$

$$10\mu\text{m} / 0,2 \text{ m} = 50\mu\epsilon$$

- $200\mu\text{m} / 0,2 \text{ m} = 1000\mu\epsilon$

A partir disso é possível se realizar os cálculos teóricos e confronta-los com os resultados obtidos com a análise do gráfico da Figura 17 que apresenta os resultados na escala de microstrain. Com esses testes foi possível verificar que os cálculos teóricos e os resultados práticos estão muito próximos e torna o FBG uma opção adequada como sensor de tração (Enríquez, et al., 2012).

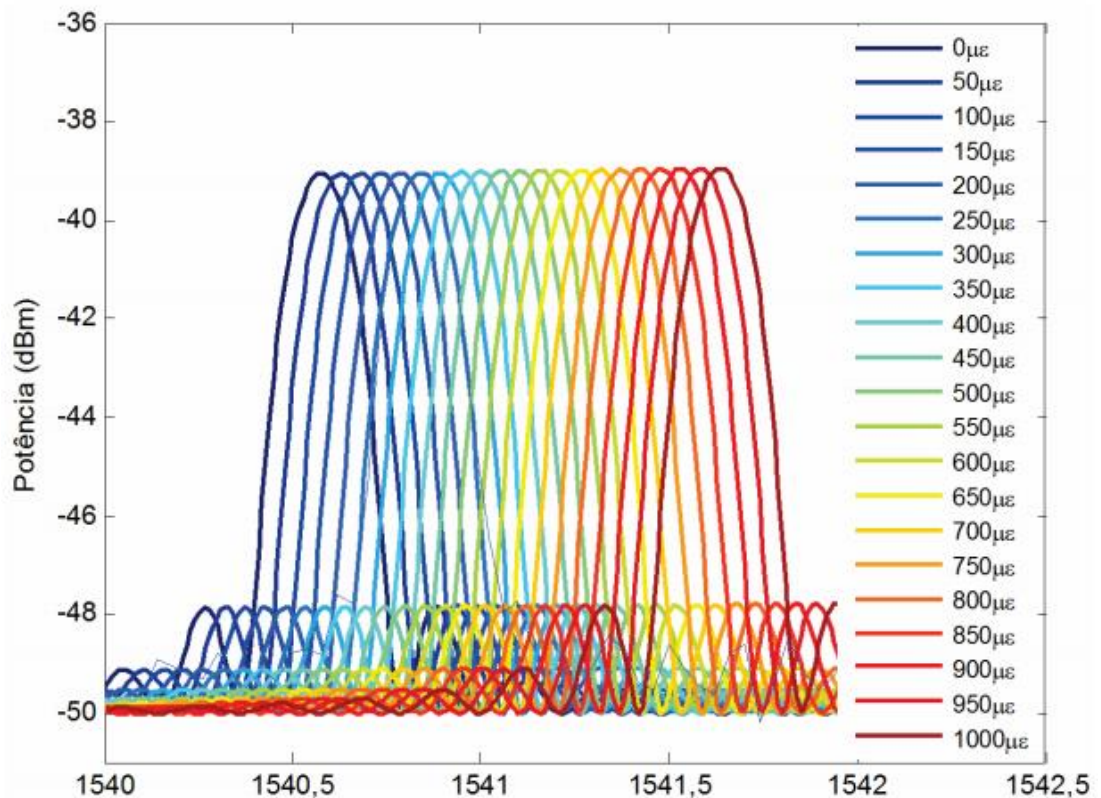


Figura 16 - Comprimento de onda em passos de 50 $\mu\epsilon$   
Fonte - (Enríquez, et al., 2012)

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse trabalho pode-se conhecer um pouco da história do uso da luz desde a antiguidade para a comunicação, esses meios primitivos dependiam de uma visada direta, pois eram uma simples emissão da luz no ar. Acompanhamos também que muitos estudos foram feitos a respeito do assunto e que houve um experimento que demonstrou que a luz poderia ser guiada por um caminho.

Devido a todos esses estudos e testes foram criadas novas tecnologias como o laser e a fibra óptica, que são tecnologias amplamente usadas na atualidade.

Também viu-se características da Fibra Óptica, foi descrito seu funcionamento e apresentadas suas vantagens e limitações, assim temos conhecimento para sua melhor aplicação.

Foram passadas informações do funcionamento das redes de Bragg em fibra óptica aplicada no sensoriamento de deformação e foi possível entender como são feitas as medições e alguns cálculos básicos foram apresentados e explicados. E por fim vimos alguns exemplos de uso da tecnologia de sensores ópticos para deformação.

Ao final desse trabalho podemos ter um bom conhecimento desse método inovador usado na fabricação de sensores, agora sabemos como funciona, quais suas vantagens e limitações e onde estão sendo usados atualmente.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA GESTÃO CT&I. Tecnologia possibilitará mais precisão no monitoramento de barragens hidrelétricas, 2015. Disponível em: <[http://www.agenciacti.com.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=8355:tecnologia-possibilitara-mais-precisao-no-monitoramento-de-barragens-hidreletricas&catid=92:br&Itemid=187](http://www.agenciacti.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=8355:tecnologia-possibilitara-mais-precisao-no-monitoramento-de-barragens-hidreletricas&catid=92:br&Itemid=187)>. Acesso em: 15 de junho 2016.

ARCARI, FELIPE D'AGOSTINI, **OSA - ANALISADOR DE ESPECTRO ÓPTICO MICROCONTROLADO**. Passo Fundo, UPF, 2010.

ARSITEC, Disponível em: <<http://www.arsitec.com.br/img/JD746B.png>> Acesso em: 01 de Setembro 2016

Cindtechs, Disponível em: <<http://cindtechs.ca/images/fbg2.png>> Acesso em 01 de Setembro 2016.

Costa, Abel Jorge Antunes da. **A fibra óptica na rede local**. Porto, FEUP, 1992.

Enríquez, Daniel Alfredo Chamorro, Giralda, Maria Thereza Miranda Rocco, **CARACTERIZAÇÃO E SIMULAÇÃO DE SENSORES ÓPTICOS BASEADOS EM GRADES DE BRAGG EM FIBRA PARA MEDIÇÃO DE TRAÇÃO**. Seção de Engenharia Elétrica (SE/3) – Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro, RJ, 2012.

Fiberpro, Disponível em: <[http://www.fiberpro.com/product/fiber\\_interrogation\\_systems/fbg\\_interrogator/fbg\\_sensing\\_interrogator.html](http://www.fiberpro.com/product/fiber_interrogation_systems/fbg_interrogator/fbg_sensing_interrogator.html)> Acesso em: 06/09/2016.

HBM, Disponível em: <<https://www.hbm.com/pt/5096/sensores-oticos-tecnologia-fbg/>> Acesso em: 01 de Setembro 2016.

HILL, K. O., FUJII, Y., JOHNSON, D. C., KAWASAKI, B. S., **Photosensitivity in Optical Fiber Waveguide: Application to Reflection Filter Fabrication**. Applied Physics Letters, vol 32, p. 647-649, 1978.

HILL, K. O Meltz, Gerald, **Fiber Bragg Grating Technology Fundamentals and Overview**, **JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY**, VOL. 15, NO. 8, AUGUST 1997.

Micron Optics, Disponível em: <<http://www.micronoptics.com/how-do-fbg-sensor-interrogators-work/>> Acesso em: 06/09/2016.

M Kreuzer - HBM, Darmstadt, S2338-1.0 e, 2006

National Instruments. Fundamentos de detecção Óptica (FBG), 2011. Disponível em: <<http://www.ni.com/white-paper/11821/pt/>>. Acesso em: 11 de maio 2016.

Navarro - Henríquez, Francisco Tecnología en Marcha, 2014, Vol.27(4), pp.3-13.

OLIVEIRA, FERNANDA MANTUAN DALA ROSA DE, **REDE DE BRAGG APLICADA NA MONITORAÇÃO DA DEFORMAÇÃO MECÂNICA DE VERNIZ ACRÍLICO DURANTE A SECAGEM**. Curitiba, UTFPR, 2013.

Patyk, Rodolfo Luiz, **Instrumentação baseada em redes de Bragg em fibra óptica para a monitoração da vazão de fluídos através do uso da termometria / Rodolfo Luiz Patyk**. – 2010.

Ribeiro, José Antônio Justino, **Comunicações Ópticas**. São Paulo: Érica, 2003.

Tabini, Ricardo, **Fibras Ópticas**. 4. ed. São Paulo: Érica, 1990.