

**Universidade Estadual de Campinas  
Instituto de Física “Gleb Wataghin”**

**“Eficiência de Fibras Ópticas Fotônicas comparada  
com Fibras Ópticas Convencionais”**

**Relatório Parcial da Disciplina Instrumentação para o  
Ensino -F 809**

**Aluno:** Diogo Burigo Almeida RA: 015871  
**Orientador:** Prof. Dr. Luis Carlos Barboza

## 1. Objetivos:

Até o presente momento as etapas do projeto que deveriam ser cumpridas eram:

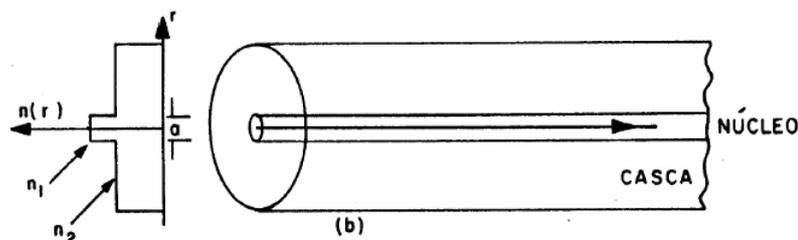
- a) Estudo da teoria de funcionamento de fibras ópticas convencionais e fotônicas.
- b) Estudo de métodos eficientes de fabricação de fibras ópticas convencionais e fotônicas.

Neste relatório estão descritos os desenvolvimentos destas etapas.

## 2. Estudo da Teoria de Funcionamento

### 2.1. Fibra óptica convencional

Fibra óptica é o termo escolhido para designar um certo tipo de guias de onda dielétricos. Trata-se de uma estrutura filamantar cilíndrica. São constituídas basicamente de um arranjo coaxial de dois vidros homogêneos, no qual a parte central (núcleo) possui um índice de refração ligeiramente maior que o da parte externa (casca). Essa diferença de índice normalmente é feita pela dopagem do vidro do núcleo com germânio ou fósforo.

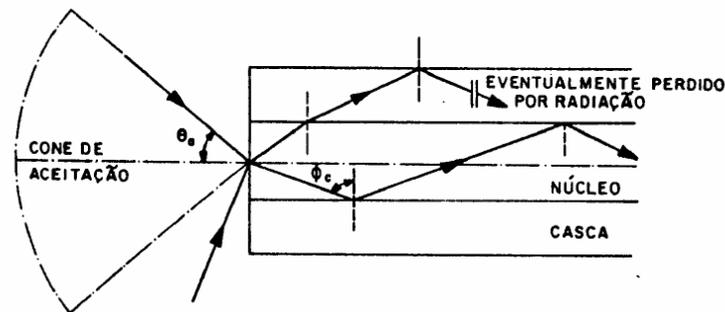


**Ilustração 1:** Esquema de uma fibra óptica com um perfil de índice de refração tipo degrau

O guiamento da luz na fibra ocorre sempre que a esta incidir na interface núcleo/casca com um ângulo maior que o ângulo crítico  $\phi_c$  definido por:

$$\text{sen } \phi_c = \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$

onde  $n_1$  e  $n_2$  são os índices de refração da casca do núcleo respectivamente. Assim sendo a será guiado quando incidir na interface fibra/ar com um ângulo menor do que o ângulo de aceitação,  $\theta_a$  como visto na figura 2.



**Ilustração 2: Ângulo de aceitação  $\theta_a$  de luz acoplada numa fibra óptica**

Este ângulo é normalmente expresso em termos da abertura numérica, NA, dada por:

$$NA = \text{sen} \theta_a = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2)$$

### 2.1.1 Atenuação:

Ao percorrer a extensão da fibra, o pulso luminoso é atenuado de tal forma que a potencia transmitida da luz será dada por:

$$P_t = P_0 e^{-\alpha L} \quad (3)$$

onde  $\alpha$  é a constante de atenuação e L o comprimento da fibra e  $P_0$  é a potencia inicial do feixe luminoso. Normalmente a perda da fibra é expressa em unidades de dB/km, esta grandeza pode ser obtida desta forma:

$$\alpha_{\text{dB}} = -\frac{10}{L} \log \frac{P_t}{P_0} = 4.343\alpha \quad (4)$$

A atenuação da fibra ocorre devido a perdas do próprio material, impurezas e imperfeições. A contribuição deste últimos fatores pode ser minimizada no processo de fabricação da fibra, porém a primeira é uma característica intrínseca a esta. Com processos de produção cada vez mais eficientes, o limite de eficiência da transmissão da luz destas está se aproximando. E é aí que entram as fibras fotônicas.

## 2.2 Fibra óptica fotônica

A teoria sobre fibras fotônicas tem uma descrição matemática rebuscada, por isso optamos por apresentar seus conceitos mais o mais qualitativamente possível.

Na década de 1990 foi proposto que luz poderia se confinada num núcleo oco de fibra óptica pela criação de buracos microscópicos, da ordem dos comprimentos de onda, e periódicos no vidro da casca um “cristal fotônico”.

Para entender como isso poderia funcionar, considere que todas as estruturas que tenham seu tamanho da ordem dos comprimentos de onda com as quais interagem, exibem ângulos e cores (*stop bands*) nas quais a luz incidente reflete fortemente, ente princípio é regido pela lei de Bragg ( $n\lambda = 2d \sin\theta$ , onde  $d$  é parâmetro da rede).

Em materiais com *band gap* fotônico, as *stop bands* bloqueia a propagação da luz em todas as direções, resultando na supressão de todas as vibrações ópticas na fixa de comprimentos de onda varridos por esse tipo de material. Sendo assim, cascas de cristal fotônico com “buracos” empregados apropriadamente em toda a extensão da fibra, podem prevenir que a luz escape do núcleo oco. O que faz com que a perda de luz devido ao meio que ela viaja seja muito menor do que comparado com a fibra óptica convencional, pois afinal estamos comparando vidro com o ar.

## 3. Métodos de Fabricação das fibras

### 3.1. Fibra óptica convencional

A maioria das fibras ópticas de baixa perda é feita de vidro, um sólido amorfo com porcentagens variáveis de óxidos de vidro (dióxido de silício, óxido de cálcio, óxido de sódio, etc). Estes compostos, sob condições específicas de preparação, formam um material sólido amorfo e não cristalino chamado pré-forma cuja quantidade de impurezas, na forma de íons metálicos, interfere na atenuação da fibra, ou seja, na capacidade de transmissão da fibra que a ser formada. Por isso a importância do estudos de dopagens de vidros nessa área;

De posse da pré-forma com as característica desejadas dá-se início ao processo básico de fabricação da fibra.

- A pré-forma é abaixada até que atinja um forno toroidal de indução e é centralizada ai através de uma circunferência de grafite de diâmetro variável.
- O equipamento para controle da temperatura, fluxo de nitrogênio e água no forno é acionado e sua temperatura é elevada gradualmente;
- Como o vidro não tem uma transição abrupta de sólido para líquido, esta temperatura não é exatamente definida e deve-se observar, com um espelho direcionado para o centro do forno, se a parte inferior da pré-forma está se movimentando . Sinal de que o vidro atingiu a temperatura de amolecimento;
- Acompanhar a queda da parte inferior da pré-forma, o que provoca um alongamento do vidro amolecido e uma correspondente diminuição do diâmetro do cilindro do material amolecido que é puxado. Enquanto desce, o cilindro fino esfria à temperatura ambiente até que atinge a temperatura de solidificação do material, definindo o diâmetro final da fibra produzida que pode ser medido por instrumentos .

No momento em que a extremidade da pré-forma liquefeita está prestes a cair, o cilindro líquido está sujeito a forças de tensão superficial, podendo ser rompido numa serie de esferas, como acontece em nossas torneiras de água. Entretanto, se o material da pré-forma tem uma fase líquida de alta viscosidade (vidro e plástico), o efeito das tensões não provoca rompimento do líquido e a fibra pode ser formada quando a temperatura de solidificação é atingida.

- Corta-se a parte disforme que caiu e puxa-se a fibra, fazendo-a passar pelo recipientes de depósito de acrilato, e das lâmpadas de ultravioleta;
- A fibra resultante é puxada e atada a um grande carretel que é colocado em rotação para coletar a fibra produzida. Imediatamente ajusta-se a velocidade de descida da pré-forma que atinge o ponto de amolecimento;
- Os parâmetros que definem o diâmetro da fibra, temperatura do forno (a viscosidade diminui uniformemente com a temperatura), velocidade de rotação do carretel, e taxa com a pré-forma é abaixada ao forno, podem ser ajustados por retro-alimentação ao

monitorar-se o diâmetro da fibra com um equipamento atravessado pela fibra na descida. E o diâmetro desejado da fibra pode ser obtido;

- Uma vez obtido o diâmetro desejado, com os parâmetros todos estabilizados, deposita-se acrilato no depósito, provocando o revestimento da fibra, conferindo-lhe flexibilidade e opacidade.

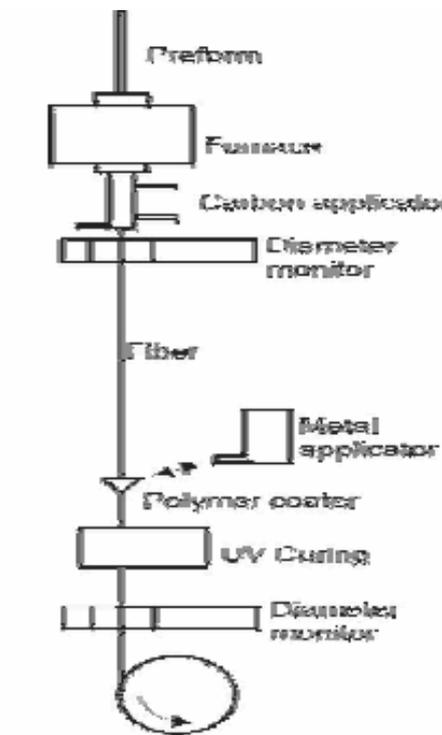
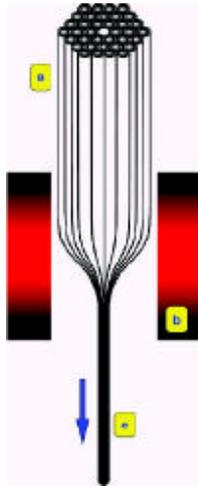


Ilustração 3: Esquema de um puxador de fibras ópticas

### 3.2. Fibra óptica fotônica

Fibras fotônicas são produzidas usando técnicas adaptadas de métodos conhecidos para puxar feixes de fibras ópticas utilizadas em aplicações de imagens e iluminação. Este processo é constituído por uma série de estágios: Primeiramente tubos de vidro são empilhados e fundidos juntos em um forno de alta temperatura (dependendo do tipo de vidro utilizado podem ser necessários 2000 °C) e puxados para formar um aglomerado de tubos. Posteriormente, este aglomerado é fundido novamente, reduzindo assim o diâmetro do mesmo e eliminando o espaço inicial entre os diversos tubos. Ao invés de tubos também

é possível utilizar bastões maciços de vidro para produzir fibras fotônicas. O processo de puxamento pode reduzir o diâmetro inicial do arranjo em até 10000 vezes, deixando os buracos internos com diâmetros tão pequenos quanto alguns nanômetros. Existem várias variações destas fibras, mas dois tipos são mais utilizados, as de núcleo oco e as de núcleo sólido. Para obter um núcleo oco basta retirar do centro do arranjo inicial um ou alguns tubos.



**Ilustração 4: Puxamento de uma fibra óptica. Uma pilha de tubos de vidros é construída da maneira desejada (preforma). Então estes tubos são fundidos e puxados na forma de fibras. Para amolecer o vidro é utilizado um forno entre 1000 e 2000 °C.**

#### **4. Conclusões e perspectivas**

Com os processos de fabricação e a teoria de funcionamento das fibras óticas entendidos estamos preparados para a execução do próximo passo do projeto que é a efetiva produção das fibras no laboratório de fibras óticas do DEQ e sua posterior caracterização através das medidas de transmissão das fibras convencional e fotônica.

#### **5. Referências**

- Telma Vinhas Cardoso, "*Lancamento de luz em fibras opticas multimodo e sua influência nas características de dispersão*", Tese de mestrado - Abril/84.

- Valeria Loureiro da Silva, "*Aplicações de fibras ópticas na geração de pulsos ultracurtos*", Tese de doutorado abril/90.
- P. J. Russel; Photonic Crystal Fibers; *Science* **299**, 358 (2003).
- Fibre Optics: Theory and Practice, 1973; W.B.Allan