

DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DO ÂNGULO DE REFLEXÃO TOTAL EM FIBRAS ÓPTICAS

Resumo

Neste trabalho será apresentado uma determinação experimental do ângulo de Brewster utilizado em fibras ópticas para que haja a reflexão total da luz, princípio fundamental que rege o funcionamento deste meio de transmissão. Envolvendo várias disciplinas como eletromagnetismo, matemática, redes de computadores e física. Este projeto é orientado aos alunos de iniciação científica com o objetivo de publicar artigos em congressos nacionais e internacionais.

Palavras chave: Fibras ópticas; reflexão; Brewster

1. Introdução

A transmissão de informação por meio de fibras ópticas cresceu e amadureceu muito nos últimos 30 anos e segundo critérios técnicos e econômicos, é a opção mais atraente para as redes de comunicações com serviços de faixa larga. Avanços recentes nesta área vêm revolucionando a infra-estrutura de telecomunicações em todo o mundo. Capacidades de transmissão cada vez mais elevadas (até 40 Gbps em cada canal) têm possibilitado a implantação de redes de comunicações que viabilizam a integração de diferentes tipos de tráfego, a sofisticação dos serviços e a interconexão de redes remotas [1]. Paradoxalmente, desde a invenção do computador até os anos 80, as velocidades de processamento vieram aumentando bem mais rapidamente do que as velocidades de transmissão. Com isso a transmissão era o gargalo das redes de comunicações. No entanto, a partir dos anos 80 com o amadurecimento da tecnologia da transmissão óptica digital, as velocidades de transmissão tiveram um aumento de várias ordens de magnitude, deslocando o gargalo para os nós eletrônicos de processamento [2]. A tecnologia mais viável, até o momento, para superar esse descompasso, é a *multiplexagem por divisão de comprimento de onda* (WDM), que consiste em modular eletronicamente vários comprimentos de onda por sinais distintos e propagá-los todos ao mesmo tempo na fibra óptica constituindo a arquitetura chamada rede óptica por divisão em comprimento de onda [4]-[6].

2. Fibras Ópticas

A fibra óptica é composta por um núcleo envolto por uma casca, ambos de vidro sólido com altos índices de pureza, porém com índices de refração diferentes.

Existem duas categorias de fibras ópticas: Multimodais (Figura 1) e Monomodais (Figura 2). Essas categorias definem a forma como a luz se propaga no interior do núcleo.

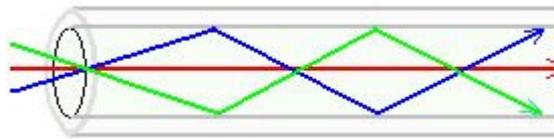


Figura 1 – Propagação da luz multimodal [3]



Figura 2 – Propagação da luz em monomodal [3]

As características das fibras Monomodais são muito superiores às multimodais, banda passante mais larga, o que aumenta a capacidade de transmissão. Apresenta perdas mais baixas, aumentando, com isto, a distância entre as transmissões sem o uso de repetidores de sinal. Os enlaces com fibras monomodo, geralmente, ultrapassam 50 km entre os repetidores.

As fibras monomodo do tipo dispersão deslocada (dispersion shifted) têm concepção mais moderna que as anteriores e apresentam características com muitas vantagens, como baixíssimas perdas e largura de banda bastante larga. Entretanto, apresentam desvantagem quanto à fabricação, que exige técnicas avançadas e de difícil manuseio (instalação, emendas), com custo muito superior quando comparadas com as fibras do tipo multimodo.

3. Física óptica aplicada à fibras ópticas

Em 1952, o físico Narinder Singh Kapany, com base nos estudos efetuados pelo físico inglês John Tyndall de que a luz poderia descrever uma trajetória curva dentro de um material (no experimento de Tyndall esse material era água), pode concluir suas experiências que o levaram à invenção da fibra óptica. A fibra óptica é um excelente meio de transmissão

utilizado em sistemas que exigem alta largura de banda, tais como: o sistema telefônico, videoconferência, redes locais (LANs), etc. Há basicamente duas vantagens das fibras ópticas em relação aos cabos metálicos: A fibra óptica é totalmente imune a interferências eletromagnéticas, o que significa que os dados não serão corrompidos durante a transmissão. Outra vantagem é que a fibra óptica não conduz corrente elétrica, logo não haverá problemas com eletricidade, como problemas de diferença de potencial elétrico ou problemas com raios. O princípio fundamental que rege o funcionamento das fibras ópticas é o fenômeno físico denominado reflexão total da luz. Para que haja a reflexão total a luz deve sair de um meio mais para um meio menos refringente, e o ângulo de incidência deve ser igual ou maior do que o ângulo limite (também chamado ângulo de Brewster).

Em 1621, um Físico Holandês, chamado Willebrord Snell (1591-1626), equacionou a relação entre os diferentes ângulos em que a Luz passa de um meio transparente a outro. Quando um Raio de Luz passa de um meio transparente para outro, como ilustramos na Figura 3, este sofre um deslocamento dado pela equação abaixo:

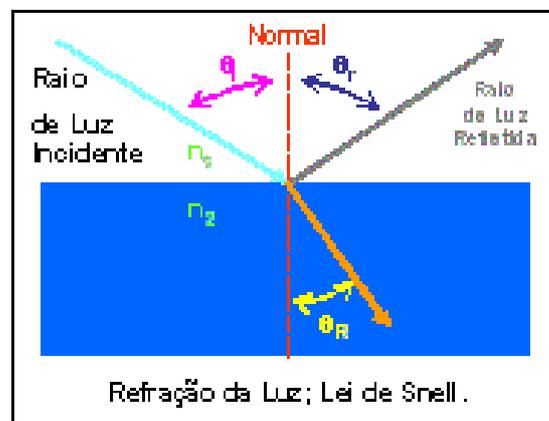


Figura 3- Refração da Luz

$$n_1 \cdot \text{sen}(\theta_i) = n_2 \cdot \text{sen}(\theta_r)$$

Onde:

- n1-** é o Índice de Refração do primeiro meio, que o feixe de luz se propaga.
- n2-** é o Índice de Refração do segundo meio, que o feixe de luz vai adentrar.
- θi-** é o chamado Ângulo de Incidência.
- θr-** é o chamado Ângulo de Refração.

Abertura Numérica

Define-se como Abertura Numérica (AN), ao ângulo formado entre um eixo imaginário localizado no centro da Fibra e um raio de luz incidente, de tal forma que este

consiga sofrer para este raio de a primeira reflexão, necessária luz se propagar ao longo da Fibra, conforme a Figura 4.

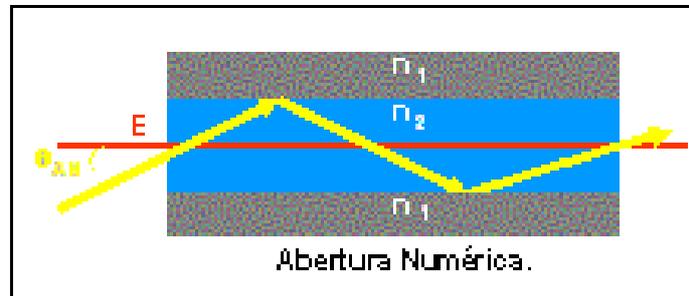


Figura 4- Abertura Numérica

A Abertura Numérica (AN) pode ser calculada.

$$AN = \text{sen}(\Theta_{AN}) = \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)}$$

Note-se que os raios de Luz incidentes, que não apresentam ângulos, que satisfaçam a equação acima, não conseguirão sofrer as reflexões necessárias para a propagação ao longo da Fibra Óptica.

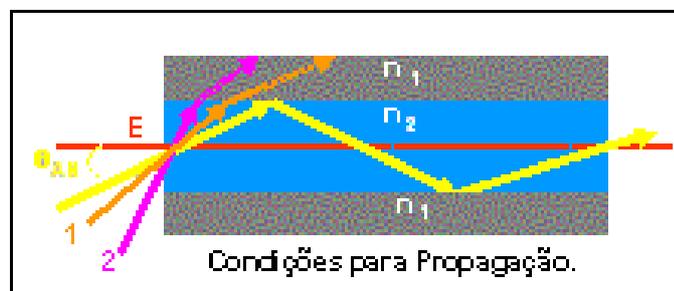


Figura 5- Condições para propagação

A Figura 5 mostra que os raios de luz incidentes 1 e 2, não conseguem se propagar ao longo da Fibra, por não estarem dentro de uma figura geométrica, na forma de um cone, chamado de Cone de Aceitação referente a Abertura Numérica (AN). De maneira simplificada, podemos dizer que a Abertura Numérica de uma Fibra Óptica, traduz a capacidade desta Fibra em captar Luz.

Ângulo Crítico em uma Fibra Óptica

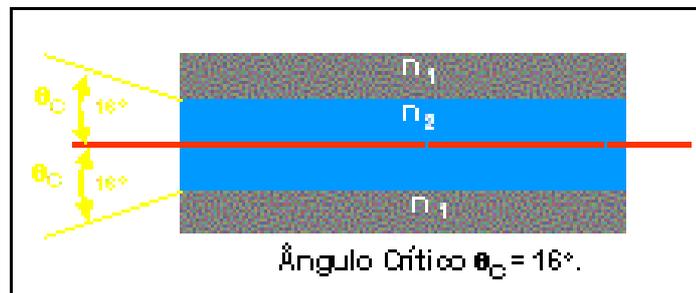


Figura 6- Ângulo Crítico

Ângulo Crítico de Incidência ou, de Entrada em uma Fibra Óptica, chamado também por alguns autores de Ângulo Limite, é mostrado na Figura 6, onde pode-se verificar que acima do valor deste Ângulo, a Luz não se propagará pela Fibra Óptica. O Raio de Luz que é Refratado se propagará paralelamente a interface entre os dois meios, ou seja, entre o Núcleo e a Casca da Fibra Óptica.

Cone de Aceitação

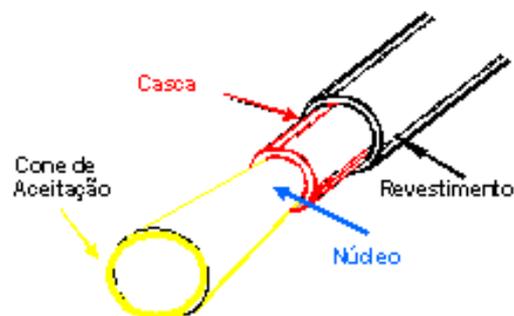


Figura 7- Cone de aceitação

A Figura 7 ilustra o chamado Cone de Aceitação, de uma Fibra Óptica. Dentro deste Cone, todos os Raios de Luz terão condições de se propagar pela Fibra Óptica.

4. Determinação experimental do ângulo Brewster

O princípio fundamental que rege o funcionamento deste meio de transmissão é o ângulo de Brewster, necessário pra que haja a reflexão total da luz. Com o auxílio de um Laser de He-Ne, (Figura 8 e Figura 9) determina-se o ângulo de Brewster registrando o ângulo para a mínima intensidade luminosa da luz refletida pela amostra. Anota-se também ângulos antecedentes e posteriores a esse ângulo de mínima intensidade e suas respectivas intensidades para construir uma curva intensidade luminosa x ângulo (Figura 11) e então com essa informação tira-se o ângulo de Brewster através da derivada desta função.

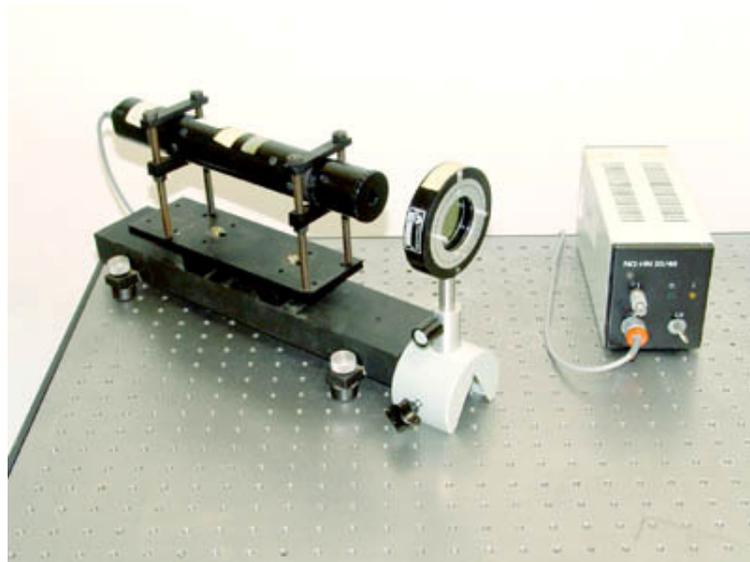


Figura 8 - Montagem do Laser e um polarizador

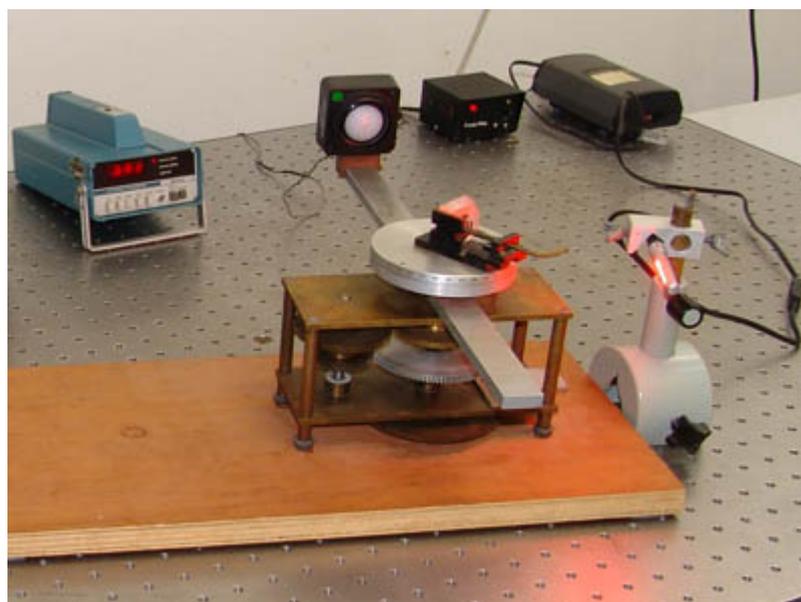


Figura 9 - Equipamento para medida de Intensidade x Ângulo (note que o fotômetro esta virado para a amostra)

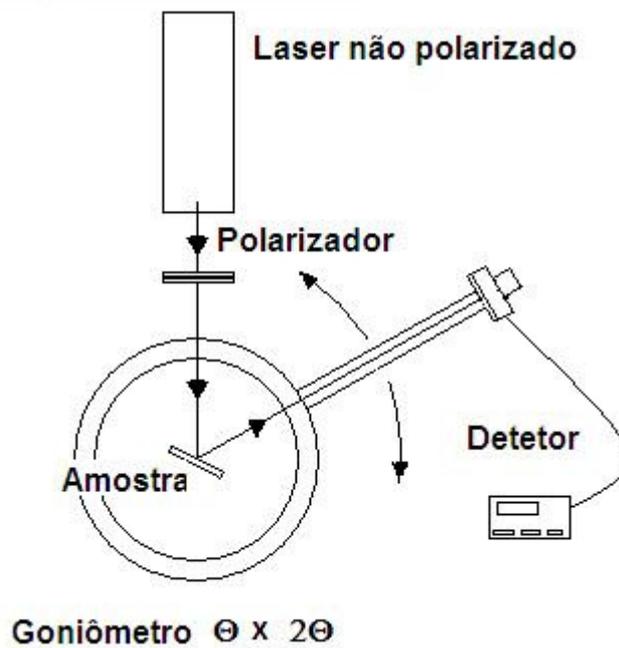


Fig 10 - Esquema da medida de Intensidade x Ângulo

A determinação do ângulo de Brewster pode ser realizada experimentalmente, fazendo-se incidir uma luz polarizada sobre o material em teste (Figura 10). Variando-se o ângulo de incidência e com um detector de intensidade luminosa obtém-se o ângulo para o qual a intensidade é mínima.

Neste experimento utiliza-se como fonte luminosa um Laser He-Ne cuja luz passa por um polarizador antes de atingir a superfície da amostra, o qual esta presa a um conjunto mecânico (Figura 8 e Figura 9) com dois movimentos conjugados e acoplado a um goniômetro que dá o valor do ângulo deslocado.

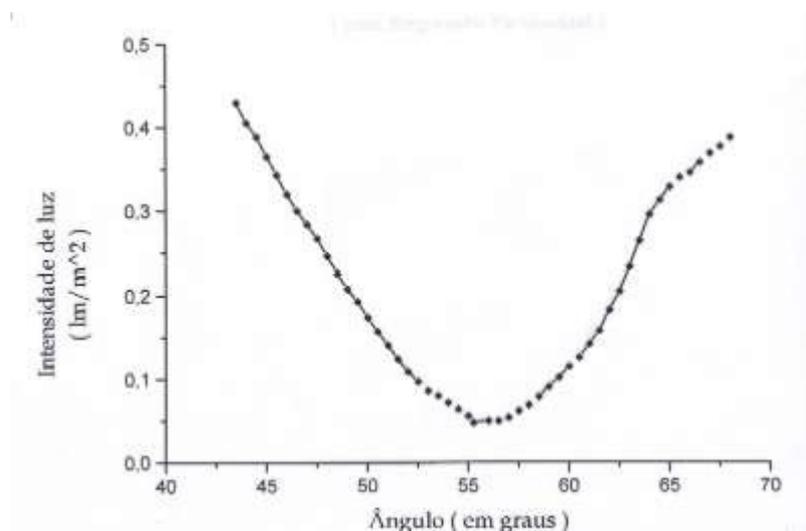


Figura 11 - Gráfico das medidas de Intensidade x Ângulo

5. Considerações Finais

Neste trabalho foi apresentado uma determinação experimental do ângulo de Brewster utilizado em fibras ópticas para que haja a reflexão total da luz, princípio fundamental que rege o funcionamento deste meio de transmissão. Envolvendo várias disciplinas como eletromagnetismo, matemática, redes de computadores e física. Este projeto é orientado aos alunos de iniciação científica com o objetivo de publicar artigos em congressos nacionais e internacionais.

6. Referências

- [1] M.S. Alencar, “Telefonia Digital” Editora Érica, 1998.
- [2] H. Waldman, M.D. Yacoub, “Telecomunicações: Princípios e Tendências: São Paulo, Érica, 1997.
- [3] K.G. Coffman and A.M. Odlyzko, Internet growth: Is there a “Moore Law” for data traffic?., *Handbook of Massive Data Sets*, J. Abello, P.M Pardalos, and M. G. C. Resende, eds., Kluwer, 2001.
- [4] R. Ramaswami and K.N. Sivarajan, “Optical Networks: a Practical Perspective”, Morgan Kauffmann Publishers, 1998.
- [5] C. Siva Ram Murthy and Mohan Gurusamy “WDM Optical Networks: Concepts, Design, and Algorithms. Prentice Hall, 2002. ISBN 0-13-060637-5.
- [6] R. Ramaswami and K.N.Sivarajan, “Design of logical topologies for wavelength-Routed All Optical Networks”, *IEEE/JSAV*, vol. 14, pp. 840-851, june 1996.
- [7] R. Ramaswami and K. N. Sivarajan, “Routing and wavelength assignment in all-optical networks”, *IEEE/ACM Trans. Networking*, vol. 3, n.5, pp. 489-500, Oct. 1995.
- [8] D. Banerjee and B. Mukherjee, 1996 “Practical approaches for routing and wavelength Wavelength assignment in large all-optical wavelength-routed networks.” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 14 (5): 903-908, june 1996.
- [9] R. M. Krishnaswamy and K.N. Sivarajan “Design of Logical Topologies: A Linear Formulation for Wavelength-Routed Optical Networks with No Wavelength Changers” *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 9, NO.2, April 2001
- [10] R. Dutta, G.N.Roukas, “Survey of Virtual Topology Design Algorithms for Wavelength-routed Optical Networks”, *Optical Networks*, Vol.1, pp.73-88, janeiro 2000.
- [11] H. Zang, J.P. Jue and B. Mukherjee, “A Review of Routing and Wavelength Assignment Approaches for Wavelength-Routed optical WDM Networks”, *Optical*

Networks Magazine, vol.1, pp. 47-60, Jan. 2000.

[12] W.Y. John. “Advanced in the management and control of optical Internets”, “*IEEE J. Select. Areas Communic.*”, vol 20, pp. 768-785, may 2002.

[13] K. D. R. Assis, H. Waldman. “An Integrated Design for Topologies of Optical Networks, part II: Resources of Wavelength Conversion” ; IEEE/SBrT Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, Outubro, 5-8, 2003. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

[14] K. D. R. Assis, H. Waldman “An Integrated Design for Topologies of Optical Networks” In; IEEE/SBrT International Telecommunication Symposium, September 8-12, 2002. Natal, RN, Brazil Proceedings of IEEE/ITS’02.

[15] A.S. Tanenbaum, “Computer NetWork, EUA: Prentice Hall, 1996