1. INTRODUÇÃO

O surgimento da Fibra Ótica veio alavancar uma grande evolução no sistema de comunicação. Através disso, todas as novas tecnologias de comunicação, de um modo geral, têm adotado as fibras óticas como suporte básico de comunicação, de maneira a melhorar a transmissão de dados, de uma maneira mais rápida e mais segura. Essa transmissão se dá através da propagação da luz. A capacidade de transmissão depende essencialmente da estrutura da fibra. O material com que ela é feita determina as frequências ou comprimentos de onda e os níveis de atenuação impostas à fibra.

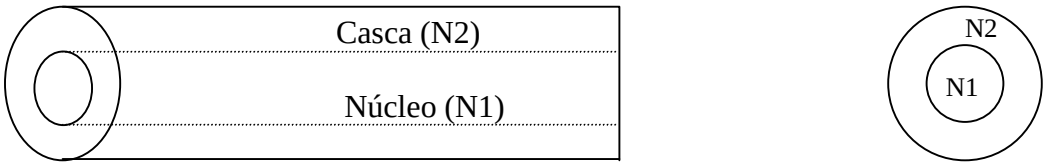
As vantagens da utilização da fibra ótica são as seguintes: imunidade a interferências, grande capacidade de transmissão, ausência de ruídos, isolação elétrica, pequeno tamanho e peso, sigilo de comunicação.

Ao longo desse trabalho será possível se conhecer um pouco mais sobre essa tecnologia, de uma maneira prática e objetiva, além de entender porque as Fibras Óticas vêm pouco a pouco substituindo a utilização dos cabos nas telecomunicações.

2. ESTRUTURA DAS FIBRAS ÓTICAS

As Fibras Óticas são compostas basicamente de material dielétrico, vidro ou plástico. Têm uma forma cilíndrica e alongada, transparente e flexível, cujas dimensões se aproximam a um fio de cabelo.

A região central denomina-se núcleo e a região que envolve o núcleo chama-se casca. Veja o exemplo abaixo (Fig. 1):



SEÇÃO LONGITUDINAL SEÇÃO

N1 → Índice de Refração do meio 1 (núcleo)
N2 → Índice de Refração do meio 2 (casca)
N1 > N2 Sempre

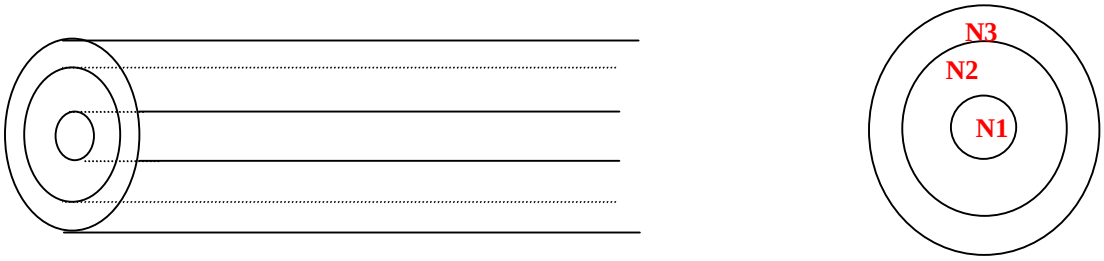
Fig. 1

A casca e o núcleo têm densidades diferentes. Essas densidades características são denominadas de Índice de Refração. Essa diferença é necessária para satisfazer a condição de confinamento e propagação da luz, usando-se materiais dielétricos diferentes. O Índice de Refração do Núcleo é sempre maior que o da casca, para que haja o confinamento da luz.

As fibras aqui abordadas são constituídas de Sílica (SIO_2).

O núcleo tem a função de propagar a luz e a casca, confina a luz no interior do núcleo.

A fibra ótica pode ter casca simples ou dupla, sendo esta a melhor, já que tem maior confinamento e menor perda (Fig.2).



N1 → Índice de Refração do Núcleo
N2 → Índice de Refração da Casca Interna
N3 → Índice de Refração da Casca Externa

Fig.2

As fibras são bastante resistentes se comparadas com o fio metálico de mesma espessura, por serem protegidas por encapsulamentos ou revestimento contra choques mecânicos ou pertubações ambientais. O encapsulamento de várias fibras na mesma estrutura dá origem ao CABO ÓTICO.

3. PRINCÍPIO DE PROPAGAÇÃO

A propagação da luz tem comportamento bastante diverso, quando passa de um meio para outro com densidade diferente. Em um determinado meio, a luz pode refletir totalmente, parcialmente ou simplesmente não refletir.

Para haver reflexão total, o raio de luz deve ir do meio mais denso para o menos denso. Os raios de luz que incidem na fibra ótica ficam confinados no núcleo (devido a sua densidade) e sofrem sucessivas reflexões na interface núcleo/casca. Entretanto os raios que são refratados para a casca são absorvidos por ela. A reflexão ou refração depende do ângulo de incidência do raio (Fig. 3).

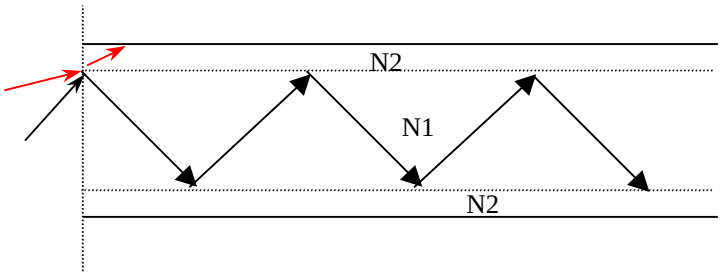


Fig. 3

4. TIPOS DAS FIBRAS ÓTICAS

As fibras óticas são classificadas a partir de suas características básicas de transmissão que dependem do índice de refração. Essas características implicam principalmente na capacidade de transmissão (largura de banda) e nas facilidades operacionais relativas a conexões e acoplamentos com fontes e detetores de luz, que levará à seguinte classificação:

4.1. Fibra Multimodo Índice Degrau (ID)

Simplicidade quanto à fabricação; simplicidade operacional; dimensões relativamente grandes; transmite vários feixes de luz; capacidade de transmissão baixa.

4.2. Fibra Multimodo Índice Gradual (IG)

Complexidade média quanto à fabricação; simplicidade operacional; dimensões moderadas (menores que a ID); transmite vários feixes de luz; capacidade de transmissão média.

4.3. Fibra Monomodo

Complexidade quanto à fabricação; complexidade operacional (técnicas de grande precisão para acoplamento a fontes e detetores); capacidade de transmissão extremamente superior às fibras multimodo, pois só transmite um feixe de luz.

5. CARACTERÍSTICAS DAS FIBRAS ÓTICAS

5.1 Suporte de Transmissão

Pode ser composto de uma fibra ou um feixe delas que implicará na capacidade de captação de potência de luz, flexibilidade, facilidades de acoplamento, perdas de propagação.

5.2. Composição da Fibra

Fibras com núcleo/casca tipo sílica-sílica, sílica-plástico ou plástico-plástico, têm propriedades distintas quanto operacionalidade, propagação, transmissão, tolerância à temperatura.

5.3. Geometria ou Sensibilidade à Polarização

As fibras monomodos podem ter também núcleo de seção elíptica, além de circular. Isso implica na filtragem e manutenção da polarização.

6. CARACTERÍSTICAS DE TRANSMISSÃO

6.1 Janela de Transmissão ou Operação

Janela de transmissão é o comprimento de onda para o qual a fibra foi construída para transmitir sinal luminoso. Janela de operação é o comprimento de onda de operação da fibra.

6.2. Abertura Numérica (AN)

Define a capacidade de uma fibra absorver a luz. Quanto maior a abertura numérica, maior sua capacidade de absorver energia luminosa. Essa abertura é definida a partir de um conceito chamado de cone de aceitação ou ângulo de aceitação (Fig.4).

Pode-se observar que todo raio incidente na fibra dentro do ângulo de aceitação será refletido ao longo da fibra, entretanto os raios com ângulo de incidência maior que o ângulo de aceitação não serão refletidos totalmente. A abertura numérica depende diretamente das dimensões do núcleo e do material da fibra. Quanto menor a abertura, maior será a taxa de transmissão, como na fibra monomodo. Já na fibra multimodo ID a abertura é maior, evidenciando sua baixa taxa de transmissão.

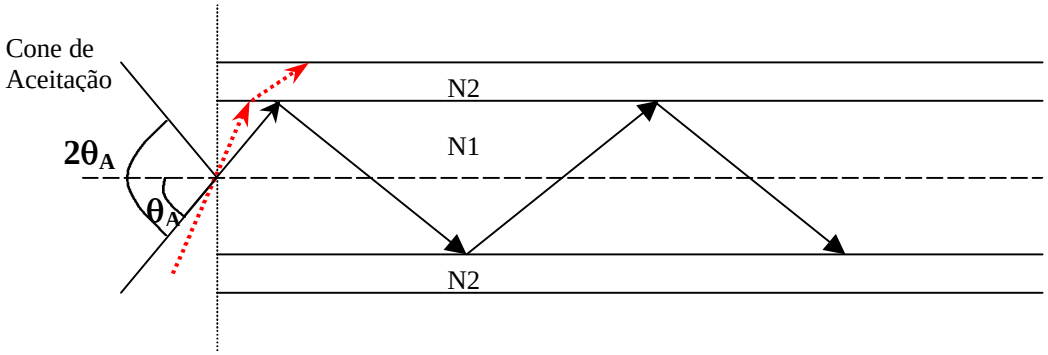


Fig. 4

6.3. Modos de Propagação

É a forma com que o sinal de luz se propaga na fibra ótica.

Tipos: Transversal eletromagnético (TEM), Transversal elétrico (TE), Transversal magnético (TM) e Híbrido (HE).

7. ATENUAÇÃO

Perda da potência de sinal luminoso ao longo da fibra ótica. É medida em dB/Km. Isso se dá devido à limitação da distância entre a origem e o fim da transmissão. Os mecanismos pelos quais ocorrem a atenuação são os seguintes:

7.1. Absorção

Parte da energia luminosa é absorvida pelo material devido a vários fatores como: presença de átomos, contaminação no processo de fabricação, presença de moléculas de água dissolvidas no vidro, variação na densidade do material.

7.2. Espalhamento

Contribui para as perdas de transmissão, pois dispersa o fluxo dos raios. O que contribui para isso é a densidade do material da fibra, a estrutura da fibra, dentre outros.

7.3. Curvaturas

As fibras estão sujeitas a perdas quando submetidas a curvaturas. Existem as macrocurvaturas (cujos raios de curvaturas são grandes, como quando um cabo ótico dobra

uma esquina) e microcurvaturas (aquelas de caráter microscópico, cujos raios de curvaturas são próximos do raio do núcleo da fibra).

7.4. Projetos de guias de onda

Parte da energia luminosa é absorvida pela casca.

8. DISPERSÃO

Alargamento do sinal ótico ao longo do percurso da fibra, influenciando diretamente na capacidade de transmissão, distorcendo os sinais transmitidos, impondo portanto uma limitação na sua capacidade de transmissão. Os mecanismos pelos quais ocorrem a dispersão são os seguintes:

8.1. Dispersão modal

Afeta a transmissão nas fibras multimodo e resulta do fato de cada modo de propagação, para um mesmo comprimento de onda, ter uma diferente velocidade de propagação.

8.2. Dispersão material

Essa dispersão corresponde à **dispersão cromática** que resulta da dependência da velocidade de propagação de grupo de um modo individual com relação ao comprimento da onda.

8.3. Dispersão da guia de onda

Também se baseia na dispersão cromática.

De um modo geral, pode-se dizer que a dispersão modal afeta a capacidade de transmissão das fibras multimodos ID e a dispersão cromática afeta as fibras monomodos e fibras multimodo IG.

9. PROPRIEDADES DAS FIBRAS ÓTICAS

9.1. Imunidade a interferências

Por serem compostas de material dielétrico, as fibras óticas não sofrem interferências eletromagnéticas. Isso permite uma boa utilização dela, mesmo em ambientes eletricamente ruidosos. As fibras óticas podem ser agrupadas em cabos óticos sem interferirem umas nas outras, devido a não existir irradiação externa de luz, resultando num ruído de diafonia (**crosstalk**) desprezível. Por não necessitarem de blindagem metálica, podem ser instaladas junto a linhas de transmissão de energia elétrica.

9.2. Pequena atenuação

As fibras óticas apresentam perdas muito baixas. Deste modo, é possível implantar sistemas de transmissão de longa distância com espaçamento muito grande entre repetidores, o que reduz a complexidade o custo do sistema. Veja a comparação da atenuação entre Par Trançado, Coaxial e Fibra Ótica (Multimodo IG) (Fig. 5).

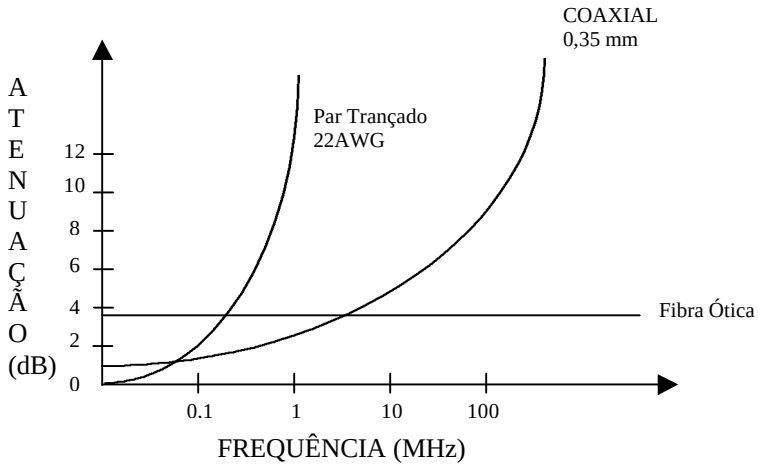


Fig. 5

9.3. Grande capacidade de transmissão

Os sistemas de comunicações por fibras óticas tem uma capacidade de transmissão muito superior a dos sistemas em cabos metálicos.

Devido à baixa atenuação, podem transmitir sinais a distâncias muito grandes. Com a tecnologia de amplificadores ópticos, é possível uma transmissão interurbana com até centenas de quilômetros de distância sem estações intermediárias, aumentando a confiabilidade do sistema, diminuindo o investimento inicial e as despesas de manutenção.

9.4. Ausência de diafonia

As fibras adjacentes em um cabo ótico não interferem umas nas outras por não irradiarem luz externamente. Não ocorrendo o mesmo nos cabos metálicos, que quando perdem parte de seu isolamento, ocorre uma irradiação entre pares metálicos adjacentes, ocasionando o fenômeno **crosstalk**.

9.5. Isolação elétrica

O material dielétrico que compõe a fibra proporciona um isolamento elétrico entre os transceptores ou estações interligadas. Ao contrário dos suportes metálicos, as fibras óticas não têm problemas de aterramento com interfaces dos transceptores. Além disso, quando um cabo de fibra é danificado por descarga elétrica, não existem faíscas. Isso é importante em áreas de gases voláteis (áreas petroquímicas, minas de carvão, etc) onde o risco de fogo e explosão é constante. A não existência de choque elétrico permite a reparação em campo, mesmo com os equipamentos ligados.

9.6. Pequeno tamanho e peso

As fibras óticas têm dimensões comparáveis às de um fio de cabelo. Mesmo sendo encapsuladas, o diâmetro e o peso dos cabos óticos são bastante inferiores aos dos cabos metálicos. Um cabo ótico tem o diâmetro externo de 17 mm e o cabo metálico, 75 mm.

9.7. Sigilo para comunicação

As fibras óticas não irradiam a luz propagada, implicando num alto grau de segurança para informações transportadas. Qualquer tentativa de captação de mensagem ao longo do cabo, logo é descoberta, pois exige o desvio de uma parte considerável da potência luminosa transmitida, paralisando o sistema de comunicação. Esta qualidade é

muito importante em sistemas de comunicação exigentes em privacidade como bancos, instituições militares, etc.

10. FABRICAÇÃO DAS FIBRAS ÓTICAS

As fibras óticas são compostas basicamente por vidros e plásticos. Na classe dos vidros, considerando-se a janela espectral típica das fibras, dois tipos fundamentais: Vidro de Sílica (SIO_2) pura ou dopada, vidros multicompostos. Veja algumas técnicas de fabricação:

10.1. Preforma

As preformas utilizadas na fabricação de fibras de sílica consistem num bastão cilíndrico de vidro, cuja composição material (sílica pura ou dopada) reflete a estrutura núcleo/casca, isto é, material de refração superior envolvido por material de refração inferior, segundo espessura e concentrações bem determinadas. As técnicas de fabricação de preformas baseiam-se num processo de deposição de vapor químico muito utilizado na fabricação de semicondutores.

10.2. Puxamento e revestimento das fibras

Uma vez feita a preforma, o próximo passo na fabricação é o puxamento e revestimento das fibras, que é realizado por um equipamento chamado de torre de puxamento. A preforma é colocada num forno de grafite onde é fundida em torno de 2000ºC até obter uma forma de um filamento fino (fibra). Depois disso a fibra é revestida por um material polimerizado, o acrilato, que a reveste do desgaste, preservando suas propriedades óticas.

11. FONTES DE LUZ

Vários fatores importantes entram na seleção de uma fonte de luz para um sistema de fibras óticas. A luz precisa estar em um comprimento de onda transmitido eficazmente pela fibra, normalmente 850, 1310 ou 1550 nm, nas fibras de sílica. A faixa de comprimento de onda é também importante porque quanto maior a faixa, maior o potencial para problemas de dispersão.

As principais fontes de luz usadas em sistemas de fibras óticas são dispositivos semicondutores – diodos emissores de luz (LED's) e LASER's semicondutores.

11.1. FONTE TIPO LED

Os LED's que emitem luz invisível próxima do infravermelho são fontes de luz comuns para sistemas de fibras óticas curtos.

O comprimento de onda emitido depende dos níveis de energia internos do semicondutor. Em um semicondutor puro de baixa temperatura, todos os elétrons ficam reunidos dentro da estrutura cristalina. Conforme a temperatura aumenta, alguns elétrons nessa banda de valência pulam para um nível de condução de energia mais alto, onde eles ficam livres para se mover pelo cristal.

Os LED’s normais usados em sistemas de fibras óticas são feitos normalmente de Arsenieto de Gálio ou Alumínio. Os LED’s de Arsenieto de Gálio emitem luz próxima de 930 nm. A adição de alumínio aumenta o limiar de corrente para melhorar a vida útil e também para aumentar o intervalo de energia e deslocar o comprimento de onda para emissões mais curtas de 750 nm a 900 nm. Os comprimentos de onda normais para aplicação em fibras óticas são 820 nm ou 850 nm. Em temperatura ambiente a banda passante ou largura espectral para LED’s em 820 nm é de 40 nm.

Entretanto o composto mais importante para a construção de LED’s para fibras óticas é o InGaAsP, feito de Índio, Gálio, Arsênico e Fósforo misturados de modo que o número de átomos de Índio mais os de Gálio se igualem ao número de átomos de Arsênico mais os de Fósforo.

11.2. FONTE TIPO LASER

Os LASER’s semicondutores produzem luz que resulta em potência de saída maior e feixes mais direcionais.

A luz é emitida quando um elétron cai de um nível mais alto para um mais baixo, liberando energia extra. Normalmente isso emite luz sem influência externa, o que é denominada de emissão espontânea, como é o caso dos LED’s, mas isso não acontece no primeiro instante em que pode. Leva-se um certo tempo para ocorrer a emissão espontânea.

11.2.1. Condições do LASER

Algumas condições são necessárias para emissão tipo LASER. Uma exigência é que existam mais elétrons no nível de energia superior do que no inferior, pois assim o que estiver no nível mais baixo pode absorver a luz emitida. Porém se só essa exigência for atendida, a emissão estimulada irá em qualquer direção, como se fosse uma lâmpada.

11.2.2. Feixe do LASER

O feixe do LASER é formado por um ressonador, que confina a luz e a faz passar repetidas vezes através da mídia excitada.

A luz emitida diretamente em direção a um espelho será refletida de volta, estimulando os elétrons prontos para se recombinarem conforme a luz passa através do plano da junção. A luz emitida em outras direções escapa, portanto somente a luz viajando de um lado para outro ao longo do ressonador na faixa estreita da região ativa será amplificada e acumulada em um feixe.

11.2.3. Aspectos Funcionais

Os LASER’s convertem potência elétrica de entrada em luz mais eficientemente que os LED’s, e também têm correntes de excitação maiores, portanto os LASER’s são mais potentes que os LED’s. A concentração da emissão estimulada leva a um feixe mais estreito do que o de um LED.

As correntes mais altas de excitação e níveis maiores de potência fazem com que a vida útil dos LASER’s seja mais curta que a dos LED’s.

11.2.4. Aspectos Estruturais

Os LASER's semicondutores têm estruturas mais complexas que os LED's. Os primeiros LASER's construídos, na década de 60, exigiam resfriamento por Hidrogênio líquido e eram muito limitados em sua vida útil. Logo foram desenvolvidos métodos para concentrar correntes de excitação e geração de luz para um funcionamento mais eficiente.

Aperfeiçoamentos posteriores confinaram a luz horizontalmente bem como verticalmente, concentrando a corrente de excitação e a potência ótica em uma faixa estreita ao longo do comprimento do chip.

Os LASER's mais avançados têm faixas ativas de apenas alguns micrômetros de largura e uma fração de micrômetros de altura.

11.3. CARACTERÍSTICAS DOS LED's E LASER's

- **LED's**

- Fácil construção
- Vida útil longa
- Alta confiabilidade
- Tem espectro largo (muitos comprimentos de onda)
- Gera luz difusa (espalhada em muitas direções) de baixa potência
- Baixa eficiência de acoplamento
- Limitação na velocidade de modulação

- **LASER's**

- Construção mais complexa
- Vida útil menor que os LED's
- Alta confiabilidade
- Espectro de luz estreito
- Gera luz concentrada de potência média – LASER tipo Fabry-perot
- Gera luz concentrada de potência alta – LASER tipo DFB
- Alta eficiência de acoplamento
- Permite altíssima velocidade de modulação

12. COMPRIMENTO DE ONDA OPERACIONAL

O comprimento de onda de origem afeta tanto a atenuação como a dispersão do pulso que o sinal experimenta na fibra. As janelas usuais de transmissão para as telecomunicações são 850, 1310 e 1550 nm.

A largura espectral ou faixa de comprimentos de onda emitidos, também afeta a dispersão do pulso, que aumenta com a faixa de comprimento de onda.

O comprimento de onda emitido depende do material semicondutor do qual a fonte de luz é feita. A largura espectral depende da estrutura do dispositivo.

Um LASER e um LED feitos do mesmo material podem ter o mesmo comprimento de onda central, porém a largura espectral do LED é muito mais ampla.

Dois LASER's feitos de materiais diferentes têm comprimento de onda diferentes, mas largura espectral comparáveis.

13. POTÊNCIA E ACOPLAMENTO DE LUZ

Para alguns tipos de LASER's a potência de fontes óticas para comunicações podem variar desde dezenas de microwatts para até valores acima de 100 miliwatts. Essa potência depende do ângulo sobre o qual a luz é emitida, o tamanho da área de emissão de luz, o alinhamento entre fonte e a fibra e as características de coleta de luz da fibra (Fig. 6).

A intensidade da luz decresce com a distância do centro.

LASER's semicondutores típicos emitem luz que se espalha por um ângulo entre 10 e 20 graus, entretanto a luz de um LED se espalha muito mais.

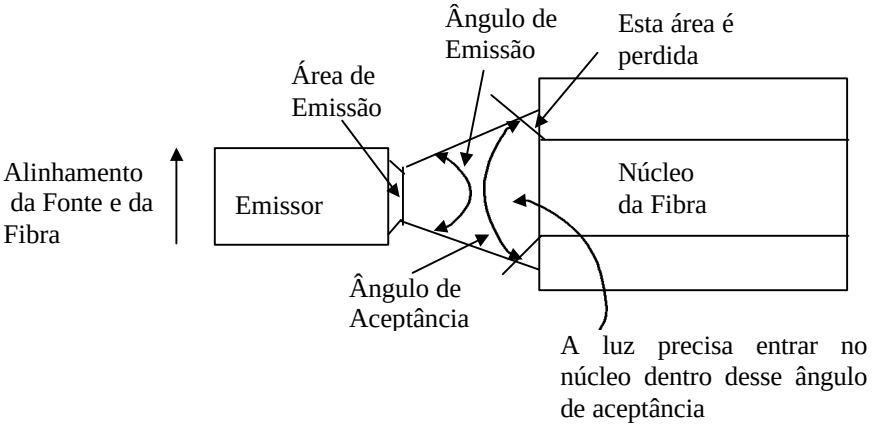


Fig. 6

14. MODULAÇÃO

Ocorre quando a potência de saída dos LASER's e LED's semicondutores varia diretamente com a corrente de entrada.

Diversas variáveis são importantes em modulação. Uma delas é a velocidade. Os LASER's são mais rápidos que os LED's.

15. DETETORES DE LUZ

Os detetores usados em comunicações de fibras óticas são fotodiodos ou fotodetetores semicondutores, que levam seus nomes a partir de sua habilidade em detectar luz.

Os detetores semicondutores mais simples são as células solares, onde a energia luminosa incidente leva os elétrons da banda de valência para a banda de condução, gerando uma tensão.

Vários tipos de detetores podem ser usados em sistemas de fibras óticas.

Os fotodetetores podem ser feitos de silício, arsenieto de gálio, germânio, fosfeto de índio, ou outros semicondutores. Sua resposta de comprimento de onda depende de sua composição.

Outros efeitos como a absorção em outras partes do dispositivo fazem com que a resposta caia mais gradualmente em comprimentos de onda mais curtos. As faixas operacionais aproximadas dos materiais detetores mas importantes são:

- ✓ Silício: 400 a 1000 nm
- ✓ Germânio: 600 a 1600 nm
- ✓ GaAs: 800 a 1000 nm
- ✓ InGaAs: 1000 a 1700 nm
- ✓ InGaAsP: 1100 a 1600 nm

15.1. Velocidade e Banda Passante

Os detetores levam tempos finitos para responder a mudanças de entrada. Ou seja, existe um atraso (dependendo do material e do projeto do dispositivo) entre a entrada de um sinal ótico em um detetor e sua produção de corrente na sua saída.

Existem mais dois limites, referente a velocidade, que afetam os sistemas óticos mais diretamente: o tempo que o sinal elétrico de saída leva para subir do nível baixo para o alto (tempo de subida) e o tempo de queda correspondente.

O tempo de subida é definido como o tempo em que o sinal de saída leva para subir de 10% a 90% do nível final depois da entrada ter sido estimulada.

O tempo de queda é o inverso: quanto tempo a saída leva de 90% a 10% para cair, depois da entrada ter sido desligada.

Apesar do atraso interno não afetar diretamente a banda passante, ou taxa de bit, os tempos de subida e descida afetam.

15.2. Fototransistores

É o detetor mais simples. Pode-se imaginá-lo como um transistor no qual a luz gera a corrente de base.

A maioria dos fototransistores comerciais é feita de silício. Sua utilização mais comum é em sensores baratos, porém também podem ser utilizados em dispositivos para sistemas de fibra ótica de baixo custo e baixa velocidade.

16. CONECTORES ÓTICOS

Os conectores, são dispositivos passivos que permitem realizar junções temporárias ponto a ponto entre duas fibras ou nas extremidades dos sistemas, juntando-se opticamente a fibra ao dispositivo fotoemissor ou fotodetetor. A qualidade de conexão é garantida pela precisão com que as peças mecânicas que constituem o conector óptico conseguem posicionar as extremidades das fibras com relação ao corpo exterior do conector. Os conectores são instalados nas extremidades dos cabos ópticos ou num dispositivo de suporte junto ao transmissor ou ao receptor óptico.

O uso de conectores em junção fibra-fibra oferece vantagens operacionais com relação as outras técnicas de conexão ponto a ponto como a conexão por emenda, pois neste caso manuseio é facilitado por dispensar equipamento sofisticado na execução da tarefa ou mesmo o conhecimento técnico particular.

16.1. DISPOSITIVOS ÓPTICOS

São dispositivos passivos, que fazem a conexão de uma fibra óptica ao equipamento fototransmissor ou fotodetetor por exemplo:

- Interfaces com redes (Lan's, Man's, Wan's).
- Conexão de enlaces ponto a ponto ou multiponto.
- Painéis (Rack's) para roteamento de cabos.

De modo geral são aplicáveis a conexões de caráter temporário, onde a fusão (que tem caráter permanente) não adequadamente pela exigência de conexão e desconexão.

16.1.2. Características básicas:

- Perda de inserção e reflexão baixas.
- Estabilidade de características em relação aos ciclos de conexão e desconexão.
- Construção e montagem bastante simples.
- Alta tolerância a fatores ambientais (temperatura, umidade, poeira, choques mecânicos).
- Crosstalk muito baixo para conectores multifibras.
- Alta durabilidade a repetição de ciclos.
- Padronização entre os fabricantes.
- Baixos custos.

16.2. Atenuação dos conectores:

➢ **Fatores Intrínsecos:**

- Perdas por diferença de geometria do núcleo.

Qualquer diferença na geometria (diâmetro, elipticidade, concentricidade núcleo/casca, etc.) dos núcleos das fibras implicam no descasamento das áreas de emissão e recepção da luz transmitida, o que resulta sempre em perdas. As variações na concentricidade do núcleo com relação à casca ou ainda a elipticidade do núcleo, também ocasionam um descasamento das áreas de emissão e recepção, consequentemente gerando perdas. É importante observar que a casca da fibra, constitui-se numa dimensão crítica no alinhamento mecânico das fibras fazendo com que diferentes diâmetros de casca impliquem em diferentes modelos de conectores.

- Diferença de abertura numérica (AN)

A transmissão de luz de uma junção de uma fibra multimodo ID com AN superior para outra com perfil também ID dimensões idênticas, mas com AN inferior resulta também em perdas. Essa diferença de AN, é resultado dos diferentes índices de refração dos núcleos e cascas nas duas fibras. Nas fibras monomodo essas perdas advém do descasamento do raio modal (Wo).

➢ **Fatores Extrínsecos**

- Perdas por retorno ou reflexão

Além das perdas por inserção, um outro parâmetro de projeto é bastante importante no caso de sistemas monomodo a LASER, que é a perda por retorno ou reflexão, causada por reflexão de Fresnel nas junções. Conectores ópticos cujas extremidades não se tocam com polimento plano exibem perdas da ordem de –25dB enquanto os de contato físico ou polimentos angulares exibem perdas inferiores a –50dB.

- Qualidade da Superfície

As superfícies das extremidades das fibras, que não estejam adequadamente planas e perpendiculares ao eixo, podem implicar em importantes perdas de conexões. Os mecanismos para evitar esse tipo de perda são: polimento adequado e fratura controlada.

17. EMENDAS

Uma emenda constitui basicamente em uma junção permanente ou semi-permanente entre dois seguimentos de fibras óticas. Ao contrário dos conectores ópticos, as emendas costumam ser usadas principalmente em sistemas de longa distância e alta capacidade em razão de suas perdas mais baixas, tipicamente inferiores a 0,02 dB. Além disso, a técnica da junção por emendas oferece vantagens em termos de uma melhor estabilidade mecânica e de facilidades de junções em campo. No caso de cabos ópticos instalados em dutos subterrâneos, as emendas são realizadas e instaladas em armários, gabinetes ou caixas de emenda ao longo da rede física.

Os cabos aéreos, por sua vez, costumam ser emendados no campo com espaçamento da ordem de 1 a 2Km. As emendas podem ser realizadas de duas formas:

- Emendas por fusão.
- Emenda mecânica.

As perdas introduzidas pelas emendas constituem-se num importante fator a ser considerado no projeto de sistemas ópticos, principalmente nos sistemas caracterizados por enlaces longos, pois poderão representar uma parte significativa no balanço total das perdas. Todavia os métodos utilizados atualmente permitem obter níveis de perdas muito baixas, inferiores aos apresentados por conectores ópticos.

17.1. Atenuação nas emendas

- Fatores Intrínsecos

Pode-se dizer que os fatores intrínsecos são quase os mesmos relacionados a conectores, ou seja:

- Variação do diâmetro do núcleo da casca.
- Diferença de perfil de índices.
- Elipticidade e excentricidade do núcleo, etc.

Para as fibras Monomodo, a contribuição mais importante provém do descasamento dos raios modais e do desalinhamento lateral dos núcleos.

- Fatores Extrínsecos

As perdas de inserção extrínsecas, decorrem da natureza da própria emenda, que inclui:

- Precisão do alinhamento das extremidades da fibra.
- Qualidade das terminações da fibra.
- Espaçamento entre as terminações
- Desalinhamento angular das fibras conectadas.
- Imperfeições no guia de onda de junção.
- Contaminação ambiental.

17.2. Fatores Reflexivos

As junções com emendas também podem causar efeitos reflexivos, implicando em perdas da potência transmitida. Atualmente essas perdas são inferiores a –50dB e a atenuação física para emendas por fusão chega a valores inferiores a 0,01dB.

18. ACOPLADORES

Um acoplador conecta três ou mais extremidades de fibra (Dispositivos Ópticos como Transmissores-Receptores). Como tais são distintos dos conectores e emendas, que juntam duas extremidades de fibras, ou uma fibra a um emissor de luz, ou uma fibra a um detetor de luz. A distinção é muito mais importante em fibras óticas do que na eletrônica, devido à maneira como os sinais viajam nas fibras. Os bons acopladores de fibras, são difíceis de serem construídos, e mesmo os bons, sofrem perdas mais altas que seus similares eletrônicos. Os acopladores são necessários pelo fato de determinadas aplicações não poderem ser atendidas por emendas ou conectores, principalmente no caso de conexões de três ou mais dispositivos.

Devido ao sinal óptico ser diferente do sinal elétrico, são transmitidos e acoplados de forma diferente. Um sinal óptico não é um potencial como uma tensão elétrica, mas um fluxo de portadores de sinal (fótons), similares em algumas maneiras ao fluxo de corrente elétrica. Entretanto, ao contrário de uma corrente, um sinal óptico não flui através de um receptor no seu caminho para a terra. Ele irá para a terra absorvido por um detetor. Isso significa que receptores de fibras óticas não podem ser colocados em série, pois o primeiro absorveria todo o sinal.

Se um sinal óptico deve ser dividido entre duas ou mais portas de saída, as portas precisam estar em paralelo. Entretanto como o sinal não é um potencial, o sinal todo não pode ser entregue a todas as portas. Em vez disso, ele precisa ser dividido entre elas de alguma maneira, reduzindo sua magnitude. Isso limita o número de terminais que podem ser conectados a um acoplador de fibras óticas passivo que meramente divide o sinal de entrada. Depois de algum número máximo de portas de saída ser excedido, não há sinal suficiente para ser detectado confiavelmente com uma taxa de erro de bit suficientemente baixa ou uma relação sinal/ruído alta o suficiente para uma aplicação.

Essa divisão de potência tipicamente limita um transmissor a enviar sinais para dezenas de receptores apesar de amplificadores e receptores poderem aumentar esse número. Para complicar ainda mais as coisas, os acopladores não são fáceis de se construir e normalmente sofrem de perdas acima do valor mais baixo teórico da simples divisão de potência

18.1. APLICAÇÕES DOS ACOPLADORES

Os acopladores não eram necessários nos primeiros sistemas de fibras óticas que transportavam sinais entre dois pontos, ou pares de pontos. Porém muitas aplicações requerem conexões de muitos terminais, como uma rede de área local. Em cada ponto onde um dispositivo é conectado a rede, o sinal precisa ser dividido em duas partes, uma para ser passada ao longo da rede e outra enviada ao dispositivo. Isso pode ser feito de várias maneiras:

- Uma das mais simples é dividir o sinal óptico em cada conexão com parte de luz indo para o dispositivo e o resto indo em torno da rede. Isso mostra ser bem ineficiente provocando assim uma grande perda de potência devido ao acúmulo de atenuação.

- Uma outra maneira é enviar o sinal a um único acoplador de múltiplas saídas localizado centralmente, que distribui saída para todos os terminais. Os detalhes diferem, mas a necessidade de acopladores aparece em qualquer momento em que os sinais ópticos são divididos e enviados para dois ou mais lugares. A única maneira de evitar a necessidade de acopladores é converter o sinal óptico em sinal elétrico e usá-los para acionar múltiplos transmissores, o que é feito em algumas redes.

Os acopladores são também necessários para separar ou combinar sinais normalmente em comprimento de onda diferentes, sendo enviados através da mesma fibra.

18.2. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DOS ACOPLADORES

A maioria dos acopladores é composta por dispositivos ópticos passivos que dividem os sinais entre duas ou mais portas de saída. O fato fundamental da vida dos acopladores passivos, é que a potência de saída total não pode ser maior que a potência de entrada. A partir do ponto de vista de cada dispositivo de saída, o acoplador tem uma perda característica igual a razão entre a saída do dispositivo e a potência total de entrada. A divisão por igual de um sinal de entrada entre duas portas de saída causa uma perda de 3 dB. Qualquer perda adiciona acima desse mínimo teórico é chamada de perda adicional.

De modo geral um acoplador com uma entrada e muitas saídas, a saída total somada de todas as portas de saídas, se iguala a potência de entrada menos a perda adicional. Em geral a potência não precisa ser dividida por igual entre as portas de saída. Um acoplador de duas pode ser projetado para 10% de luz emergir em uma porta e 90% na outra.

18.3. TIPOS DE ACOPLADORES

Uma outra variável no projeto dos acopladores é como eles operam a luz passando em diferentes direções. Alguns acopladores operam de maneiras diferentes, dependendo de

em qual porta a luz entra e em qual direção ela viaja. Estes são denominados de acopladores **DIRECIONAIS**. Outros operam da mesma maneira, não importa em qual porta a luz entra ou em que direção ela viaja. Estes são chamados acopladores **BIDIRECIONAIS**.

Tanto acopladores direcionais como bidirecionais podem ser utilizados para dividir ou combinar sinais de sistemas de fibras óticas. A escolha depende da aplicação, mas é importante conhecer qual é qual.

19. CABOS ÓPTICOS

Os cabos ópticos são estruturas de encapsulamento e empacotamento de fibras óticas que têm como funções básicas prover às fibras proteção e facilidade de manuseio. As características das fibras são sensíveis a influências mecânicas e ambientais conforme visto anteriormente. O cabeamento, portanto, procura proteger a fibra ou fibras, contra adversidades mecânicas ou ambientais durante a instalação ou operação do suporte de transmissão. Devem também prover rigidez necessária a fim de prevenir curvaturas excessivas nas fibras.

19.1. CARACTERÍSTICAS DE TRANSMISSÃO

As características de transmissão de uma fibra óptica nua podem ser afetadas pelo processo de cabeamento. O desempenho de um cabo óptico pode diminuir ao longo do tempo por três razões principais:

1. Atenuação crescente em função da presença de hidrogênio que pode ser gerado pela corrosão metálica da estrutura de suporte físico do cabo em presença de água ou pela decomposição de material plástico de revestimento;
2. Fadiga estática fazendo com que uma fibra quebre anos após a instalação do cabo;
3. Envelhecimento térmico da estrutura do cabo fazendo com que a atenuação induzida por microcurvaturas aumente.

19.2. TIPOS DE CABOS ÓTICOS

A fibra óptica durante o processo de fabricação é revestida por camada de acrilato para proteção. Em alguns casos esse revestimento de proteção básica é suficiente para permitir que a fibra seja utilizada diretamente numa estrutura de cabeamento. Entretanto, na maioria das aplicações, é necessário prover a fibra de proteção adicional através de um procedimento comum conhecido por **BUFFERING**. O processo de buffering de uma fibra em cabo óptico pode ser basicamente de dois tipos: **modo solto (loose)** e **modo compacto (tight):**

- Encapsulamento Solto – A estrutura de buffering de modo solto consiste em um tubo longo com diâmetro interno muito maior que o diâmetro da fibra, contém a fibra, isolando-a das tensões no cabo (forças externas e contrações devido a variação de temperatura). A fibra pode mover-se livremente com relação às paredes do tubo. O tubo costuma ser preenchido (principalmente nos cabos de uso externo) por um

material viscoso, tipicamente composto de silicone ou geléias de origem petroquímicas, que além de proteção adicional contra impurezas, provê uma lubrificação para os movimentos da fibra. Para aplicações internas, mais imunes as tensões e variações ambientais, o tubo pode ficar vazio.

- Encapsulamento Compacto – Uma camada de proteção de nylon ou poliéster e extrusada diretamente sobre a fibra revestida. Neste caso as fibras são submetidas imediatamente as tensões aplicadas ao cabo. Por outro lado o modo compacto provê menores dimensões e maior resistência a forças de esmagamento. Este tipo de estrutura básica para cabos ópticos costuma ser usado principalmente para atender a demanda de cabos com dimensões pequenas úteis, por exemplo, em instalações em dutos existentes bastante congestionados.

19.2.1. Cabos Monofibras

Os cabos monofibras (Fig. 7) são utilizados em sistemas de comunicação unidirecional. Este tipo de cabo é muito utilizado para conectar o equipamento transmissor ou receptor ao cabo multifibras, o qual é o suporte de transmissão. Estes cabos podem ser encapsulados de forma solta ou compacta.

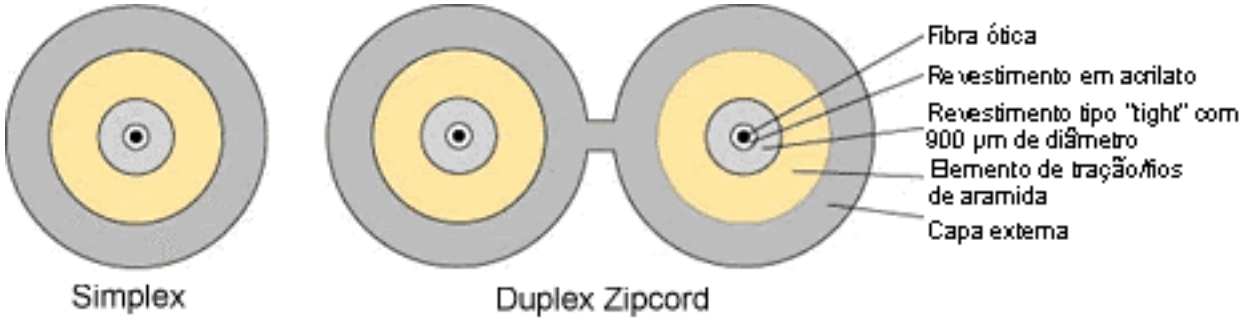


Fig. 7

19.2.2. Cabos Multifibras

Os cabos multifibras (Fig. 8) podem ter várias características de construção diferentes. São cabos com duas ou mais fibras, utilizados como suporte de comunicação efetivo nas redes de telecomunicações.

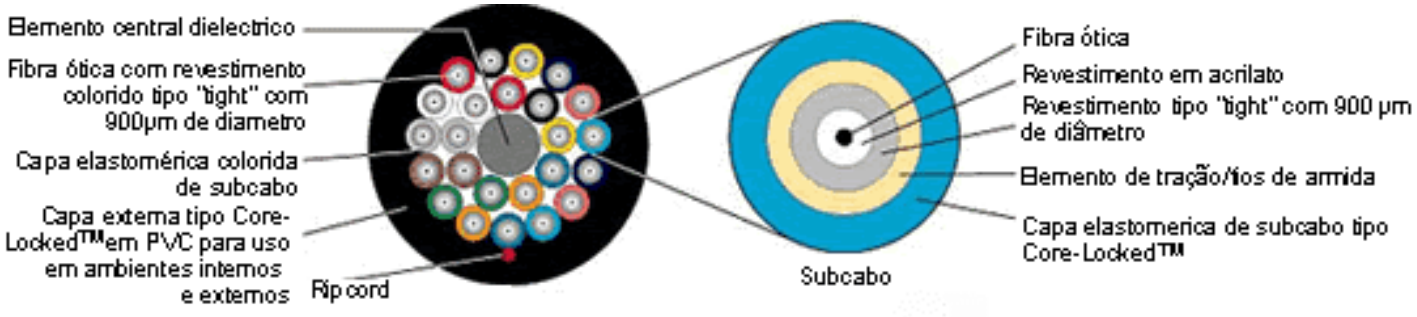


Fig. 8

20. APLICAÇÕES DAS FIBRAS ÓTICAS

Os sistemas de transmissão por fibras óticas podem ser classificados segundo algumas características básicas. Estas características estão associadas às aplicações dos sistemas ou à especificidade de alguma técnica, configuração ou dispositivo utilizado pelo sistema. Tipos de sistemas:

- Sistemas de Comunicação
- Sistemas Sensores
- Aplicações Militares

20.1. SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO

As fibras óticas são aplicadas a vários sistemas de comunicação, tais como:

- *Rede Telefônica*: serviços de tronco de telefonia, interligando centrais de tráfego interurbano e interligação de centrais telefônicas urbanas.
- *Rede Digital de Serviços Integrados (RDSI)*: rede local de assinantes, isto é, a rede física interligando os assinantes à central telefônica local.
- *Cabos Submarinos*: sistemas de transmissão em cabos submarinos.
- *Televisão por Cabo (CATV):* transmissão de sinais de vídeo através de fibras óticas.
- *Sistema de Energia e Transporte*: distribuição de energia elétrica e sistema de transmissão ferroviário.
- *Redes Locais de Computadores*: aplicações em sistemas de longa distância e locais. Na busca de padrões a fim de facilitar a conectividade e minimizar os custos de aquisição e implantação com fibras óticas, foi desenvolvido o FDDI (esse padrão especifica uma rede com topologia em anel para operação a uma taxa de transmissão de 100Mbps).

20.2. SISTEMAS SENSORES

Nestes tipos de sistemas, a fibra é utilizada como sensor de estímulos externos, tais como a temperatura, a pressão, o campo magnético, a rotação, etc. Vários tipos de sensores com fibras óticas já estão disponíveis comercialmente. Mercados orientados ao desenvolvimento desse tipo de sistema são:

- *Aplicações industriais*: sistemas de telemetria e supervisão em controle de processos.
- *Aplicações médicas*: sistemas de monitoração interna ao corpo humano e instrumentação cirúrgica.
- *Automóveis*: monitoração do funcionamento do motor e acessórios.

20.3. APLICAÇÕES MILITARES

As aplicações militares de fibras óticas incluem, desde sistemas de comunicação de voz e dados a baixa velocidade, onde as fibras óticas simplesmente substituem suportes metálicos convencionais, até aplicações envolvendo sistemas de navegação e controle de mísseis ou torpedos guiados por cabo.

21. APLICAÇÕES ATUAIS DAS FIBRA ÓTICAS

Na América Latina ocorre a maior explosão da demanda por banda larga, provocando uma verdadeira corrida para a construção de backbones submarinos e terrestres. Além das rotas Americas 1, Columbus e Unisur, todas com participação da Embratel, o Brasil se beneficiou recentemente com a chegada de cinco novas rotas internacionais subaquáticas: Emergia, da espanhola Telefônica; 360Americas, da canadense 360Networks; Atlantis II e Americas II, da Embratel, além do sistema ótico SAC (South American Crossing), da norte americana Global Crossing.

A extensão total do backbone é de 162 mil quilômetros, abrangendo 200 cidades em 27 países de todos os continentes, com exceção da África, que será beneficiada a partir de 2002.

Esse sistema de telecomunicação da Global Crossing é composto por cabos com quatro pares de fibras e deverá ter sua capacidade de tráfego aumentada para 80 Gbps, podendo chegar a 1,28 Tbps, sendo sua capacidade atual de 40 Gbps.

Em pouco mais de um ano o projeto Emergia lançou ao mar 23 mil quilômetros de fibra e outros 2 mil em terra. No Brasil as estações terrestres estão no Rio de Janeiro, Salvador, Fortaleza e Santos.

Para se ter idéia da taxa de transferência que o Emergia pretende chegar (1,9 Tbps), é como se um único cabo de fibra pudesse transmitir o conteúdo dos quatro milhões de livros da Biblioteca do Congresso dos EUA, de Washington a Lima, em menos de um minuto. Se fosse utilizado um modem de 56Kbps, conectado a uma linha telefônica comum, levaria 81 anos.

O Americas II, o Atlantis II e o Columbus formam o Anel Atlântico Internacional Digital da Embratel que atenderá nos próximos seis anos à demanda por serviços de alto desempenho, incluindo Internet, telefonia, comunicação de dados e redes corporativas.

A empresa Diveo possui um backbone , cuja rede abrange as cidades de São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Curitiba, Porto Alegre, Brasília e Campinas a uma taxa de transferência de até 155 Mbps, com extensão de 1,1 mil quilômetros, atendendo cerca de 250 clientes.

22. QUESTIONÁRIO

1. Qual a composição da fibra ótica?
2. Por que o Índice de Refração do Núcleo é sempre maior que o da casca?
3. Cite os tipos de fibra ótica e suas características.
4. O que é atenuação? E dispersão?
5. Quais são as propriedades da fibra ótica?
6. Qual a função dos conectores ópticos?
7. Quais as vantagens das emendas sobre os conectores?
8. Porque o uso de acopladores em série, apesar de ser uma alternativa simples, não se mostra confiável?
9. Cite três razões pelas quais os cabos ópticos perdem desempenho ao longo do tempo.
10. Descreva as funções de um cabo monofibra.

23. BIBLIOGRAFIA

- Conterato, Luiz Sérgio. Curso Prático e Teórico de Fibras Óticas. Versão II. 1998.
- Revista World TELECOM. Janeiro / 2001.
- http://fibraoh.cjb.net