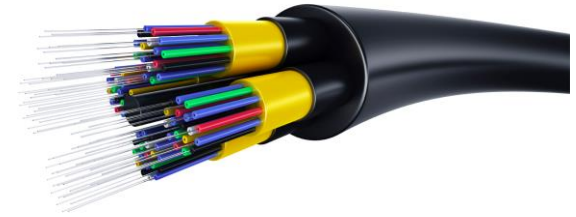

TEÓRICA 2

FIBRA ÓTICA – PARTE 3

Sumário

- Cabos de fibra ótica
- Ligações da fibra ótica

Cabos de fibra ótica



- Cabos de fibra ótica são uma adaptação das fragilidades da fibra ao seu meio de utilização real
- Quando uma fibra é instalada as suas propriedades mecânicas deverão ser preservadas
 - Pelas razões abordadas anteriormente e referentes às características de transmissão
 - Uma fibra não protegida possui inúmeras desvantagens em relação à sua durabilidade, resistência e força estrutural

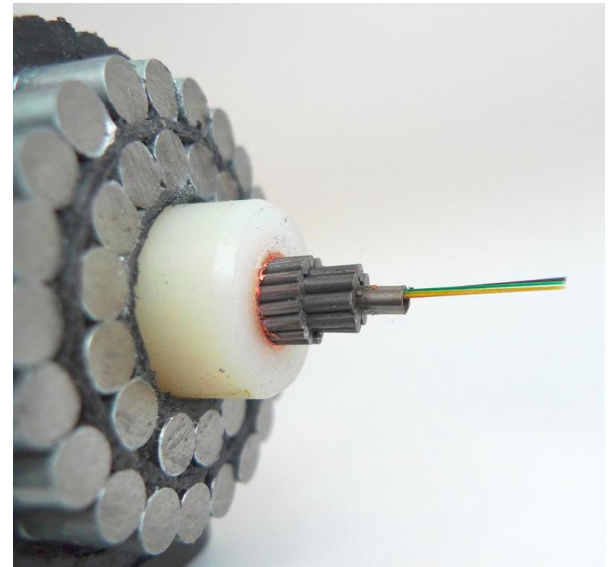
Cabos de fibra ótica



- Pode sumariar em quatro principais áreas as funções de um cabo ótico
 - Proteção da fibra
 - Estabilidade nas características de transmissão
 - Força estrutural do cabo
 - Identificação e junção das fibras no interior do cabo

Cabos de fibra ótica

- Proteção da fibra
 - A função principal do cabo ótico é proteger contra danos e quebra da fibra
 - Tanto durante a instalação como durante a vida da fibra
- Exemplo de um cabo de fibras óticas submarino

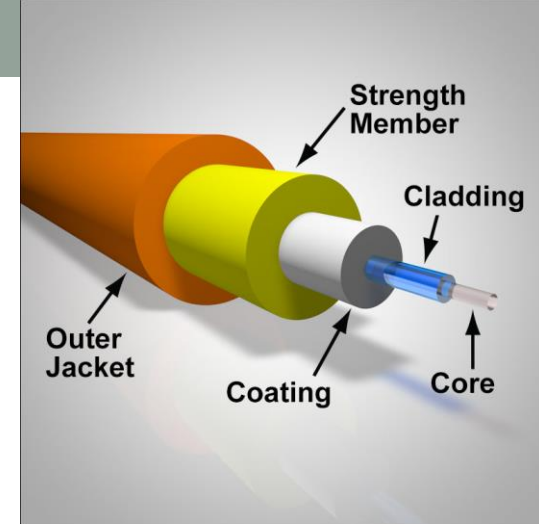


Cabos de fibra ótica

■ Estabilidade nas características de transmissão

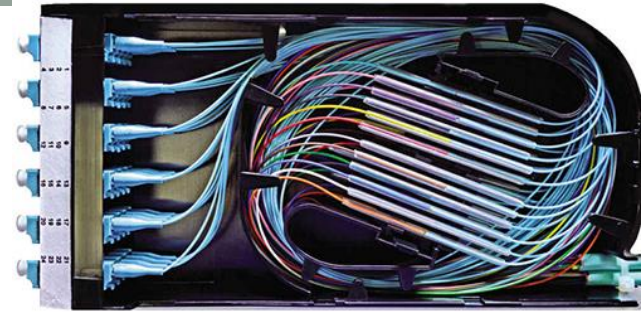
- A fibra deve ter boas características de transmissão
 - Estas características deverão ser estáveis e comparáveis com a fibra fora do cabo
 - Aumentos na atenuação ótica devido aos cabos são frequentes
 - Devem ser minimizados no planeamento e desenho do cabo

Cabos de fibra ótica



- Força estrutural do cabo
 - Os cabos óticos devem ter propriedades mecânicas similares aos cabos elétricos
 - Permitir um idêntico manuseamento
 - Estas propriedades mecânicas incluem tensão, torção, compressão, flexão, aperto e vibração
 - A força estrutural do cabo pode ser melhorada pela incorporação de um adequado membro de força
 - Dar ao cabo uma bainha exterior corretamente projetada e de espessura adequada

Cabos de fibra ótica



■ Identificação e junção das fibras no interior do cabo

- É especialmente importante para os cabos que incluem um grande número de fibras óticas
- Se as fibras estão dispostas numa geometria adequada, pode ser possível utilizar várias técnicas de junção de juntas
 - Em vez de cada fibra individualmente

Cabos de fibra ótica

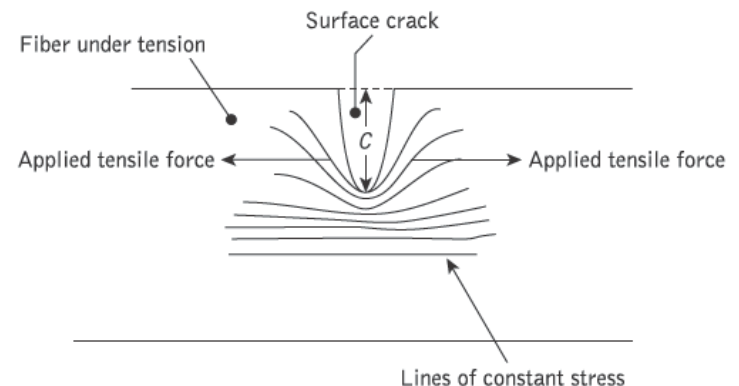
■ Resistência e durabilidade das fibras

- As fibras óticas para telecomunicações são quase exclusivamente fabricadas a partir de um composto de sílica ou de vidro (vidro multicomponente)
- Estes materiais são frágeis e apresentam elasticidade quase perfeita até que seu ponto de rutura seja atingido
- A fim de tratar falhas de superfície em vidro utiliza-se analiticamente a teoria de Griffith

Cabos de fibra ótica

■ Teoria de Griffith

- Esta teoria assume que os defeitos de superfície são fendas estreitas com pequenos raios de curvatura nas suas pontas
- Postula que a tensão é concentrada na ponta da fissura, o que leva ao seu crescimento e eventualmente a uma falha catastrófica
- Fissura superficial elítica numa fibra ótica tensionada



Cabos de fibra ótica

■ Teoria de Griffith

- A concentração de linhas de tensão na extremidade da fissura indicam um aumento do estresse quando a mesma é mais profunda
- Esta teoria dá um fator de intensidade de tensão K_I e pode ser demonstrada como:

$$K_I = SYC^{\frac{1}{2}}$$

S é o estresse macroscópico na fibra

Y é a constante definida pela forma da fissura

ex: $Y = \pi^{\frac{1}{2}}$ para uma fissura superficial elítica

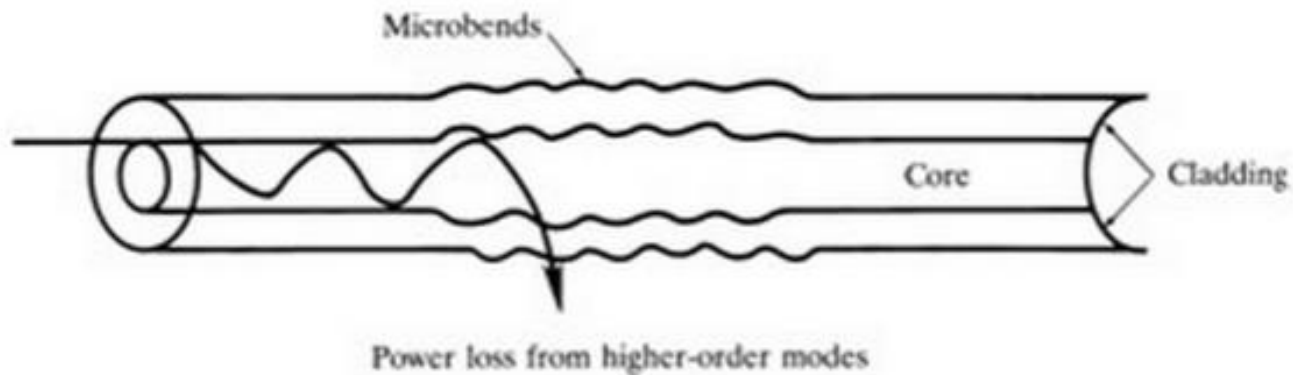
C é a profundidade da fissura

Cabos de fibra ótica

- Estabilidade nas características de transmissão
- Os cabos devem ser desenhados para permitir uma boa estabilidade nas características de transmissão
- Um dos maiores problemas são as torções na fibra durante a produção do cabo
 - São provocadas micro-curvaturas na fibra (microbending)

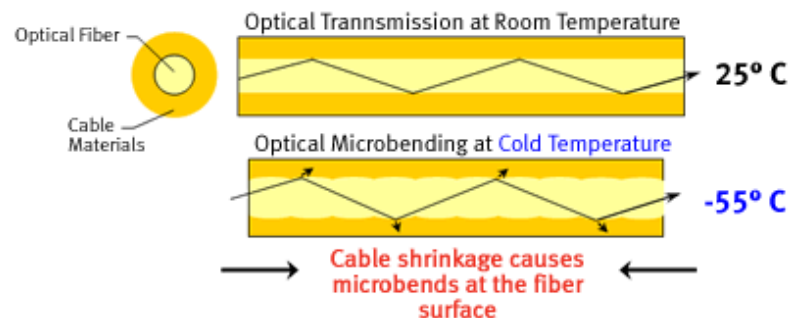
Cabos de fibra ótica

- Estabilidade nas características de transmissão
 - Microbending



Cabos de fibra ótica

- Estabilidade nas características de transmissão
- Microbending
 - Também pode ser gerado no processo de instalação e durante o funcionamento
 - Variação de temperaturas que causam efeitos de contração e de expansão



Cabos de fibra ótica

- Estabilidade nas características de transmissão
- Absorção de hidrogénio
 - Estudos sugerem que o hidrogénio pode ser gerado durante o tempo de funcionamento da fibra
 - Por decomposição química dos materiais de revestimento da fibra
 - Por meio de ação eletrolítica com metais
 - Humidade que afeta o revestimento de metal do cabo de fibra

Cabos de fibra ótica

- Estabilidade nas características de transmissão
- Absorção de hidrogénio
 - Estes efeitos podem ser minimizados por seleção cuidadosa do cabo
 - Prevenir a imersão do cabo em água ou por pressurização do cabo para impedir a entrada de água
 - Alternativamente o cabo de fibra pode ser periodicamente purgado com um gás inerte

Cabos de fibra ótica

- Estabilidade nas características de transmissão
- Exposição a radiação nuclear
 - As características de transmissão ótica de cabos de fibras podem ser gravemente degradadas pela exposição à radiação nuclear
 - Formam-se centros de cor no núcleo da fibra, que pode causar atenuação espectral
 - A natureza exata desta atenuação depende de um número de fatores

Cabos de fibra ótica

- Estabilidade nas características de transmissão
- Exposição a radiação nuclear
 - Fatores intrínsecos e seu parâmetros
 - Estrutura das fibras
 - Composição do núcleo e material de revestimento
 - Parâmetros do sistema, como a intensidade e comprimento de onda ótico e temperatura

Cabos de fibra ótica

- Estabilidade nas características de transmissão
- Exposição a radiação nuclear
 - Fatores extrínsecos e seu parâmetros
 - Parâmetros de radiação
 - Dose total
 - Taxa de dosagem
 - Níveis de energia
 - Comprimento de tempo de recuperação permitido

Cabos de fibra ótica

- Estabilidade nas características de transmissão
- Exposição a radiação nuclear
 - A atenuação induzida por radiação compreende duas componentes
 - Componente permanente
 - É irreversível
 - Componente metaestável
 - É reversível

Cabos de fibra ótica

- Estabilidade nas características de transmissão
- Exposição a radiação nuclear
 - Componente metaestável
 - Transiente
 - Tempo de decaimento inferior a 1 s
 - Estado estacionário
 - Tempo de decaimento inferior a 10 s
 - A natureza de ambos os componentes permanentes e decomposição da atenuação é dependente da composição da fibra

Cabos de fibra ótica

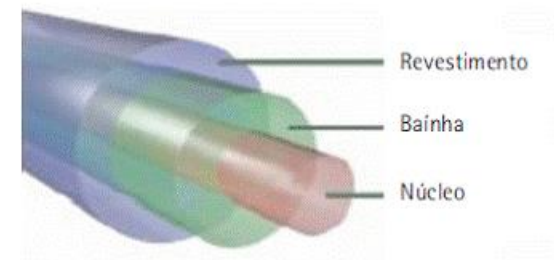
- Desenho do cabo
- O desenho de um cabo de fibra ótica deve ter em conta os diferentes aspetos abordados
 - Proteção da fibra
 - Estabilidade nas características de transmissão
 - Força estrutural do cabo
 - Identificação e junção das fibras no interior do cabo
- Em particular, o cabo deve ser concebido de modo que a pressão sobre a fibra no cabo não seja superior a 0,2%

Cabos de fibra ótica

- Desenho do cabo
- Alternativamente, sugere-se que a tensão permanente na fibra deva ser inferior a 0,1%
- Na prática, estas restrições podem ser ultrapassadas, de várias maneiras que são, em certa medida, dependente da aplicação do cabo
- O desenho do cabo deverá reunir estas considerações nas diversas categorias
 - Revestimento da fibra, elementos estruturais e de resistência dos cabos, barreira de água, etc.

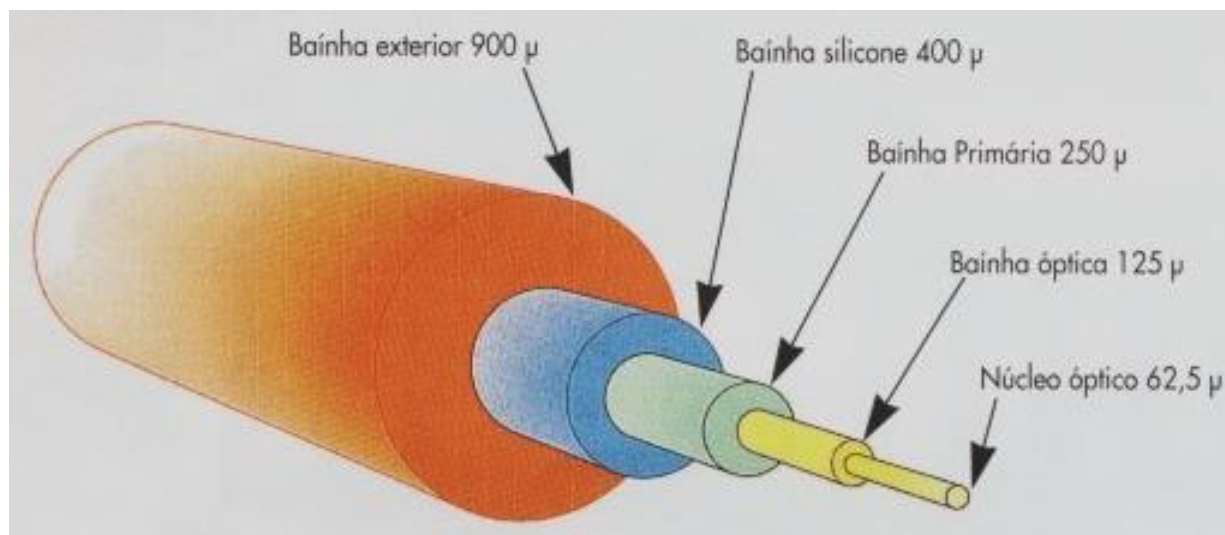
Cabos de fibra ótica

- Revestimento do cabo
 - Um cabo de fibra ótica pode ter várias camadas de revestimento
 - A primeira camada é tipicamente de Teflon
 - Revestimento primário
 - “Primary coating”
 - Tem 5 a 10 μm de espessura
 - Ajuda a prevenir o desgaste do vidro da bainha



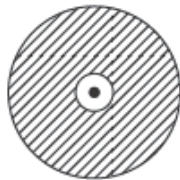
Cabos de fibra ótica

- Revestimento do cabo
 - Outras camadas de revestimento permitem uma melhor resistência mecânica e ambiental da fibra ótica

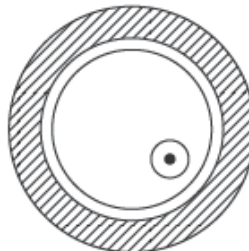


Cabos de fibra ótica

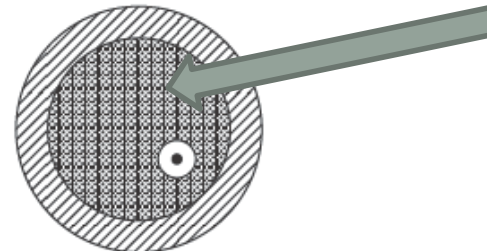
- Revestimento do cabo
 - A segunda camada é desenhada para proteger a fibra contra perdas por micro-curvatura
 - Conhecida como “buffer jacket”
 - Pode assumir diferentes formas



Tight buffer jacket



Loose tube buffer jacket

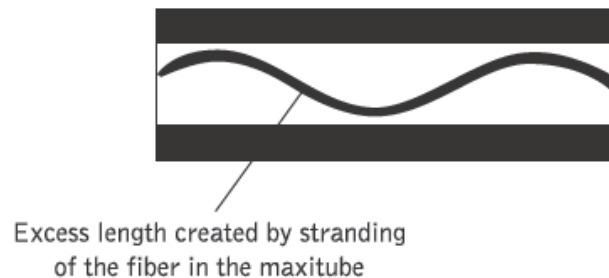
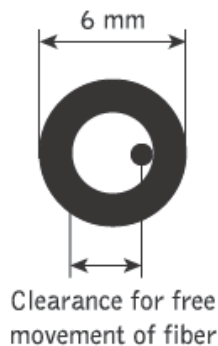


Filled loose tube buffer jacket

Material de enchimento resistente à humidade

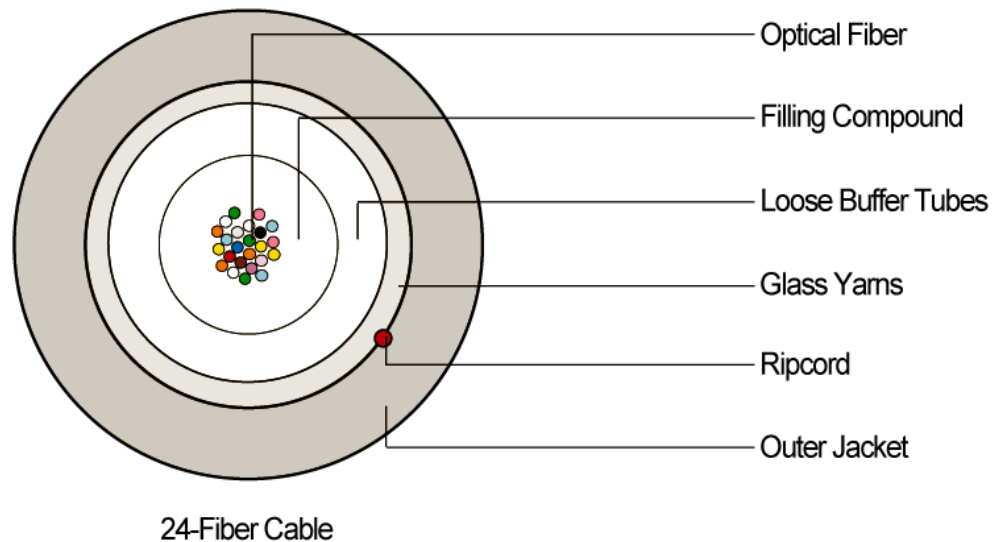
Cabos de fibra ótica

- Revestimento do cabo
 - A segunda camada pode ter folga
 - A fibra (núcleo e bainha) ficam com folga dentro deste revestimento (tubo solto)
 - “loose buffer”, “loose tube” ou “loose buffer tube”
 - Podem conter mais do que uma fibra



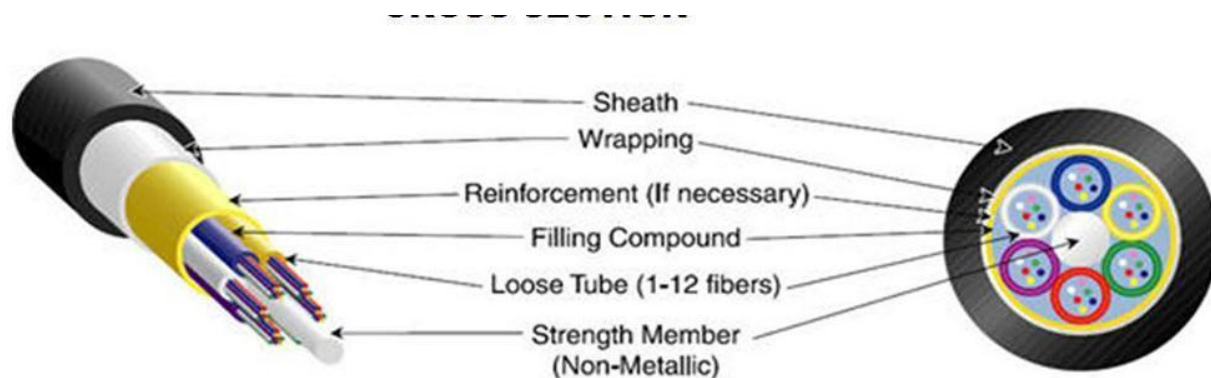
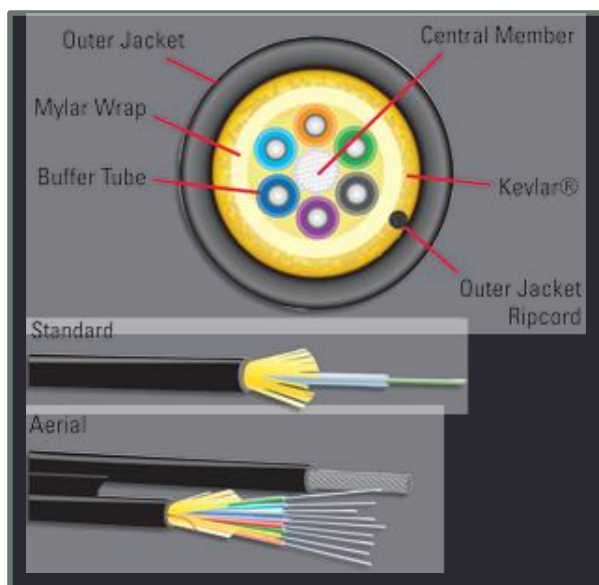
Cabos de fibra ótica

- Revestimento do cabo
 - Múltiplas fibras
 - Exemplo de múltiplas fibras óticas e revestimentos exteriores



Cabos de fibra ótica

- Revestimento do cabo
 - Múltiplas fibras
 - Exemplo de múltiplas fibras óticas e revestimentos exteriores



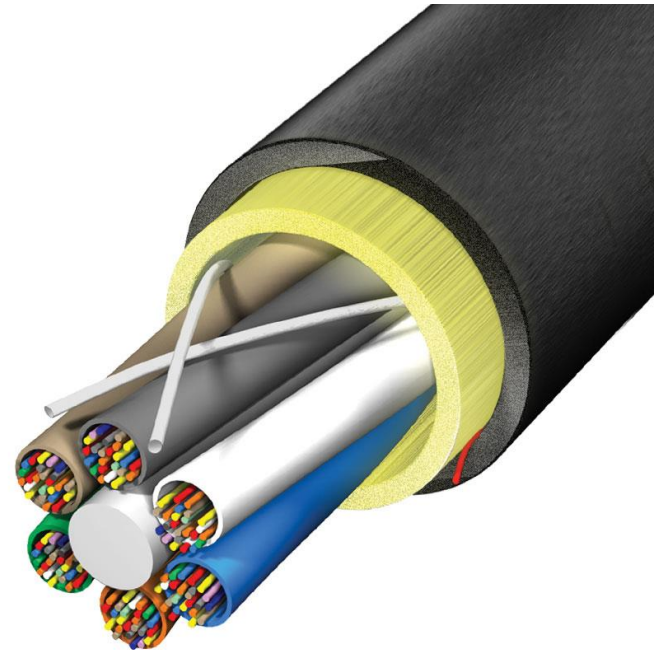
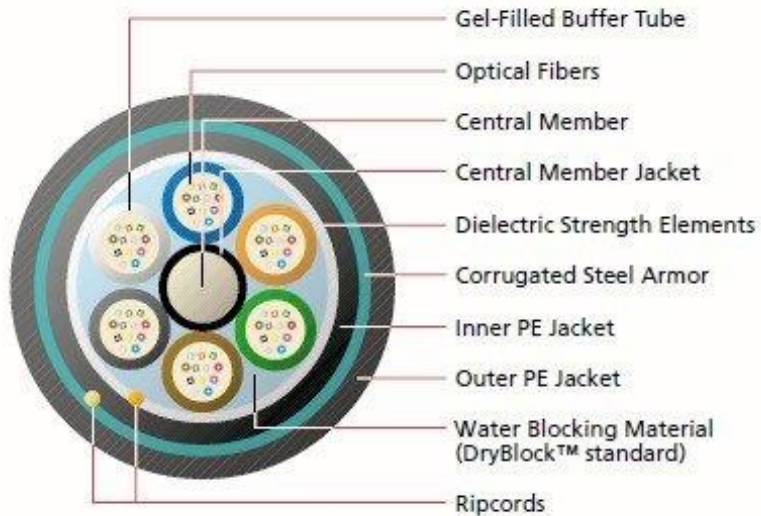
Cabos de fibra ótica

- Revestimento do cabo
 - Múltiplas fibras
 - Exemplo de uma fita de fibras óticas e revestimentos exteriores



Cabos de fibra ótica

- Revestimento do cabo
 - Múltiplas fibras
 - Exemplo de agrupamentos de fibras óticas e revestimentos exteriores



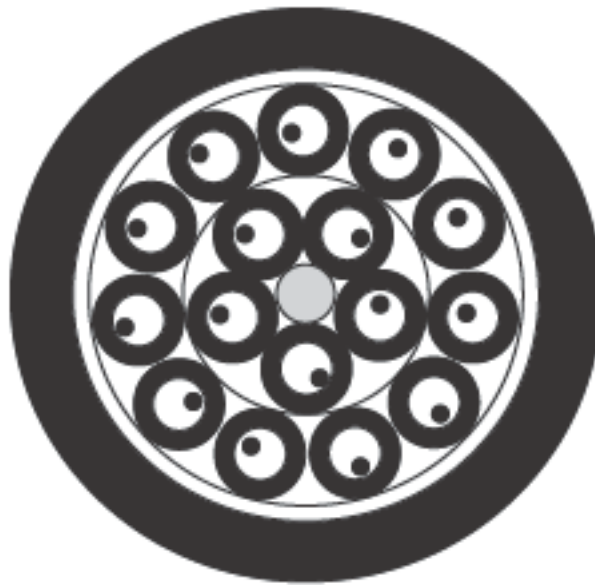
Cabos de fibra ótica

- Revestimento do cabo
 - Exemplo de uma camada única que incorpora várias fibras em tubos soltos



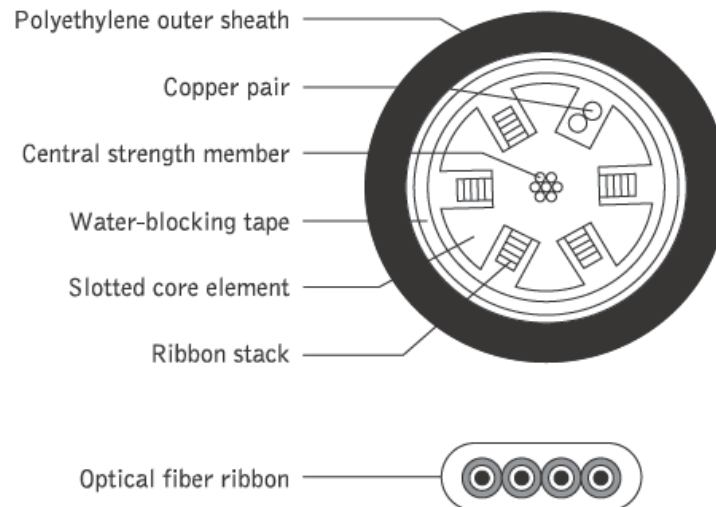
Cabos de fibra ótica

- Revestimento do cabo
 - Exemplo de duas camadas que incorpora várias fibras em tubos soltos



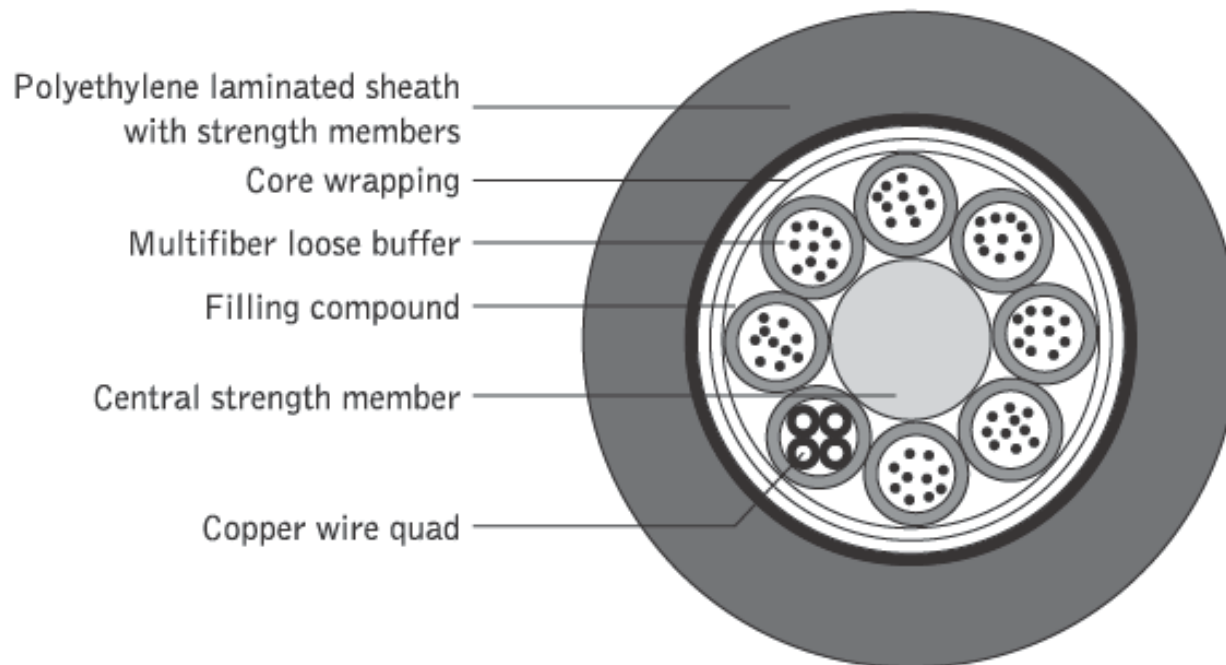
Cabos de fibra ótica

- Revestimento do cabo
 - Exemplo de cabo com fitas de fibras com núcleo com ranhuras e pilhas de fitas
 - 100 fibras num só cabo



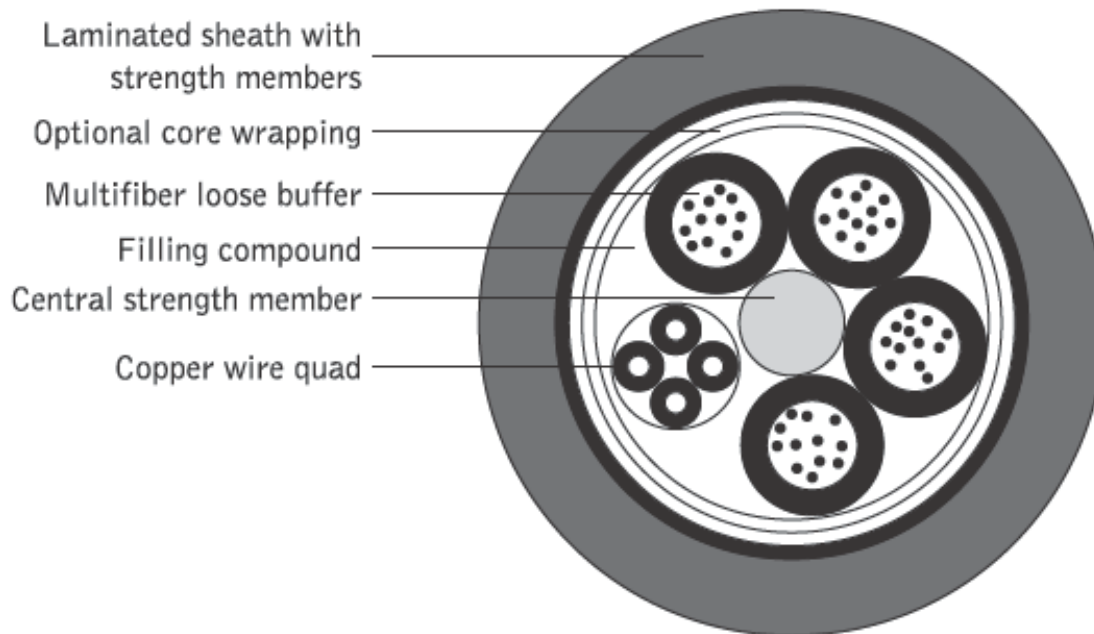
Cabos de fibra ótica

- Revestimento do cabo
 - Exemplo de um cabo multimodo com cobre



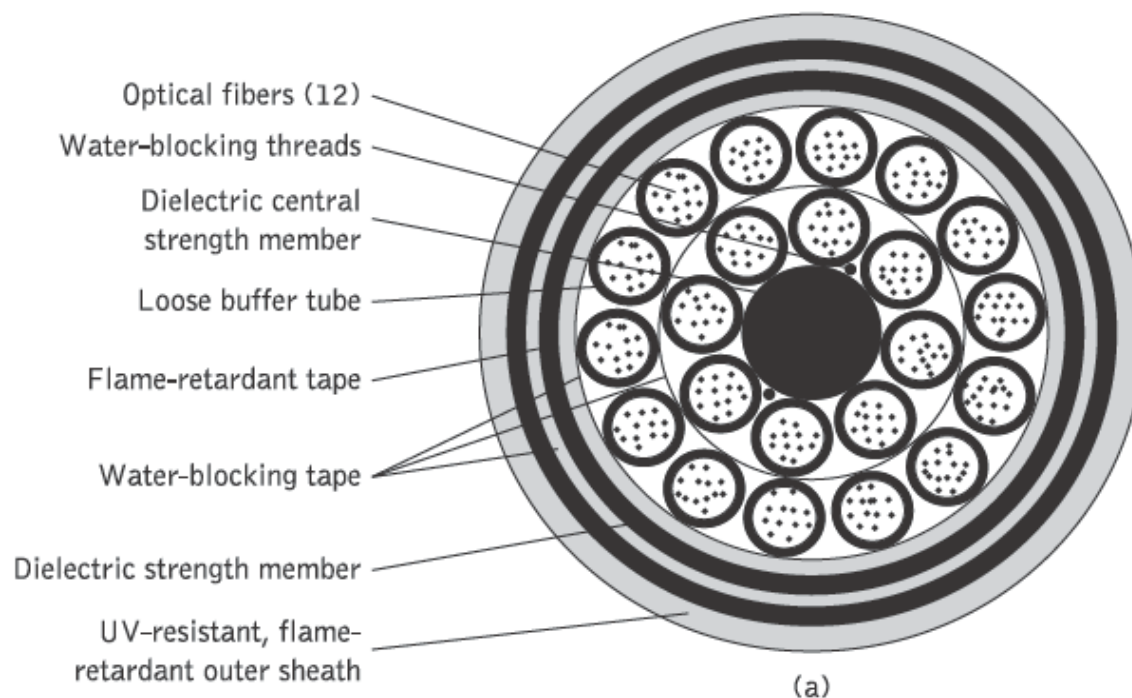
Cabos de fibra ótica

- Revestimento do cabo
 - Exemplo de um cabo monomodo com cobre



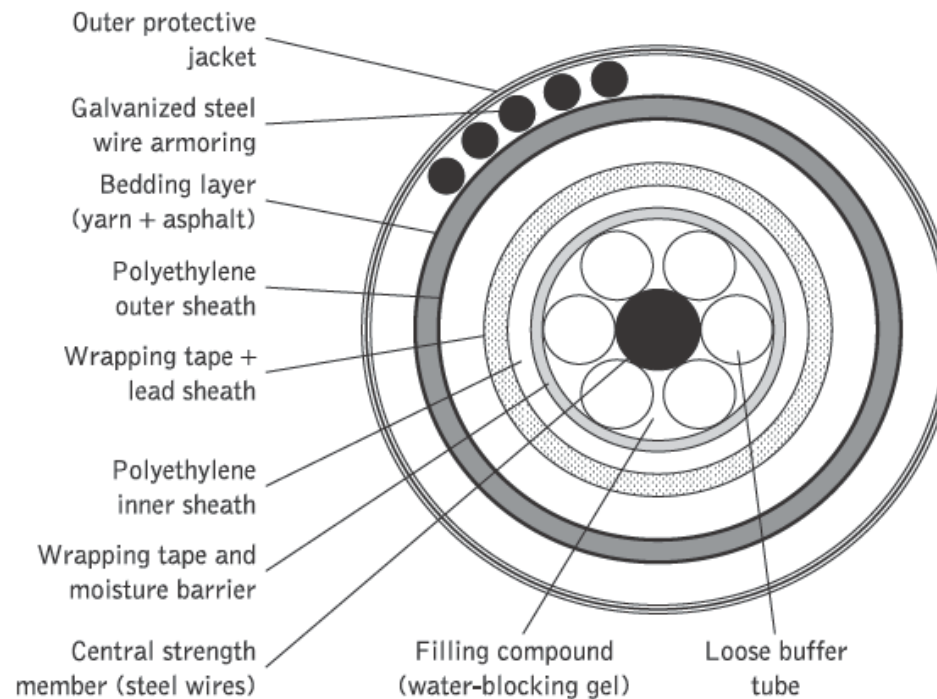
Cabos de fibra ótica

- Revestimento do cabo
 - Exemplo de um cabo com 264 fibras



Cabos de fibra ótica

- Revestimento do cabo
 - Exemplo de um cabo submarino



Ligações passivas na fibra ótica



- As ligações passivas são uma necessidade comunicações óticas
- Ligações intermédias ou juntas são necessárias para perfazer a distância requerida
 - Entre repetidores por exemplo
- Apesar de parecer contínua uma fibra pode ser instalada em várias secções

Ligações passivas na fibra ótica

- As técnicas de fabrico permitem a criação de uma fibra única de 200 km de comprimento
 - Para milhares de kms é necessário juntar várias secções
- Os repetidores são tipicamente espaçados de 40 a 60 kms
 - Para taxas de transmissão de 2,5 a 10 Gbps

Ligações passivas na fibra ótica

- Por exemplo, um cabo transatlântico percorre cerca de 6000 km de distância
 - Possui 120 repetidores óticos
 - São colocados a cada 50 km
 - Este cabo permite 32 canais WDM
 - Cada canal a 10 Gbps



Ligações passivas na fibra ótica

- Uma experiência foi realizada com uma ligação de 4800 kms
 - Foram utilizados repetidores optoeletrônicos a cada 120 km
 - Transportava 64 canais WDM de 10 Gbps cada
- Uma boa ligação da fibra ótica é por isso imprescindível para vencer distâncias
 - Garantindo os débitos desejados

Ligações passivas na fibra ótica

- Existem duas categorias de ligações passivas
 - Emendas ou juntas de fibra (“fiber splices”)
 - São articulações semipermanentes ou permanentes que encontram maior uso na maioria dos sistemas de telecomunicações de fibra ótica
 - Análogo a juntas elétricas soldadas
 - Conectores óticos desmontáveis ou simples
 - São articulações removíveis que permitem um fácil e rápido engate manual e desacoplamento de fibras
 - Análogo às fichas e tomadas elétricas

Ligações passivas na fibra ótica

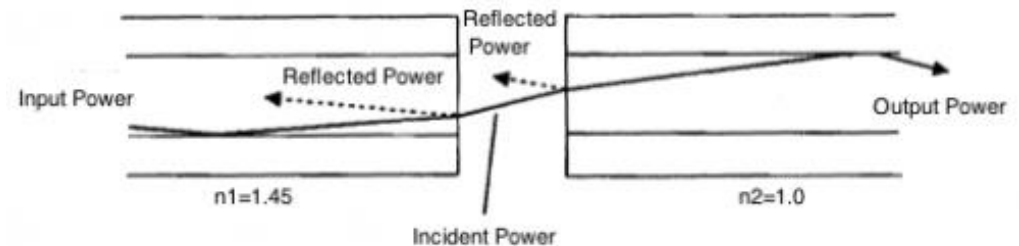
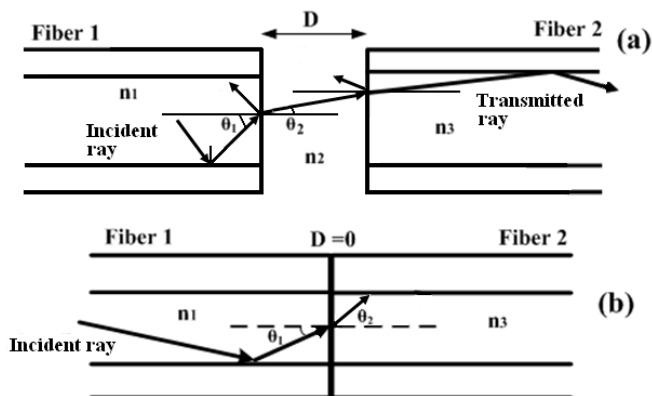
- Emendas ou juntas
 - São ligações diretas fibra-fibra
 - Requerem um perfeito alinhamento entre fibras
 - As fibras são difíceis de manusear dada a sua reduzida dimensão
 - A ligação não deverá introduzir perdas excessivas
 - Para não comprometer os débitos requeridos

Ligações passivas na fibra ótica

- Emendas ou juntas
 - Qualquer desvio nos parâmetros geométricos e óticos afetarão a atenuação ótica
 - Perdas por reflexão ou de Fresnel
 - Perdas por inserção (“insertion loss”)
 - Intrínseca
 - Extrínseca

Ligações passivas na fibra ótica

- Emendas ou juntas
 - Perdas por reflexão ou de Fresnel
 - Ocorrem quando a luz passa de um índice de refração para outro (fibra-ar-fibra)
 - Uma pequena porção de luz é refletida de volta
 - Ocorrem duas vezes nos interfaces



Ligações passivas na fibra ótica

- Emendas ou juntas
 - Perdas por reflexão ou de Fresnel
 - Pode ser quantificada através dos diferentes índices de refração em cada interface

$$r = \frac{(n_1 - n_2)^2}{(n_1 + n_2)^2}$$

r é o coeficiente de reflexão de Fresnel

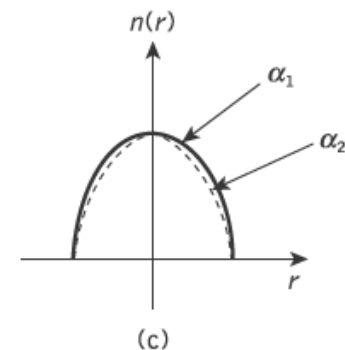
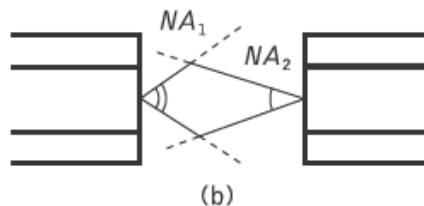
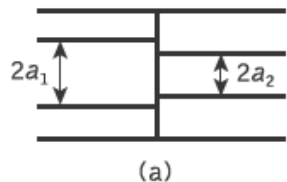
n_1 e n_2 são os índices de refração dos dois meios

- A perda em decibéis na interface pode ser calculada como:

$$Perda_{Fresnel}(DB) = -10 \log_{10}(1 - r)$$

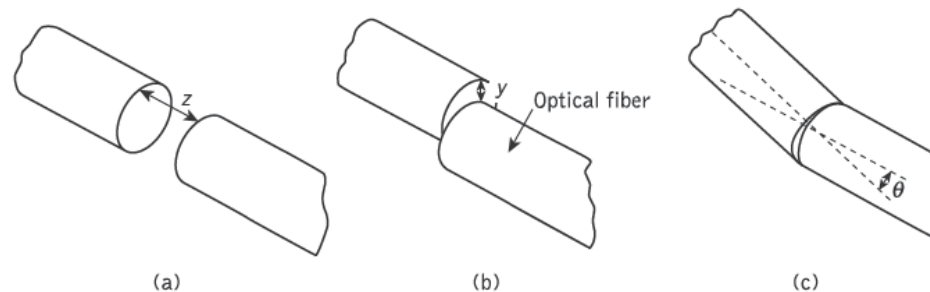
Ligações passivas na fibra ótica

- Emendas ou juntas
 - Perdas por inserção intrínseca
 - Dimensões diferentes do núcleo ou bainha
 - Diferenças na abertura numérica
 - Diferenças nos índices de refração
 - Diferença no perfil dos índices de refração
 - Falhas na fibra (elipticidade e excentricidade do núcleo)



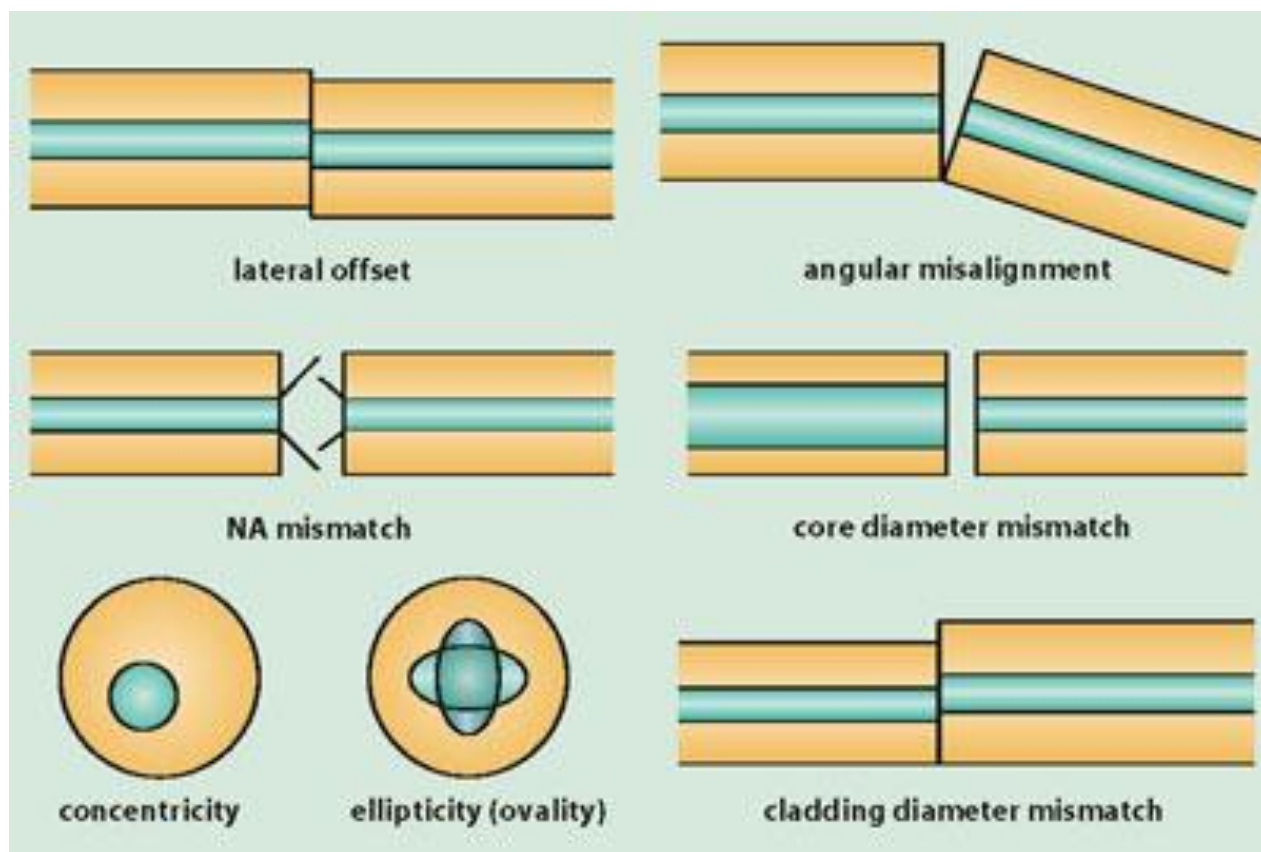
Ligações passivas na fibra ótica

- Emendas ou juntas
 - Perdas por inserção extrínseca
 - Desalinhamento mecânico
 - (a) Desalinhamento longitudinal
 - (b) Desalinhamento lateral
 - (c) Desalinhamento angular
 - Qualidade da superfície nas extremidades



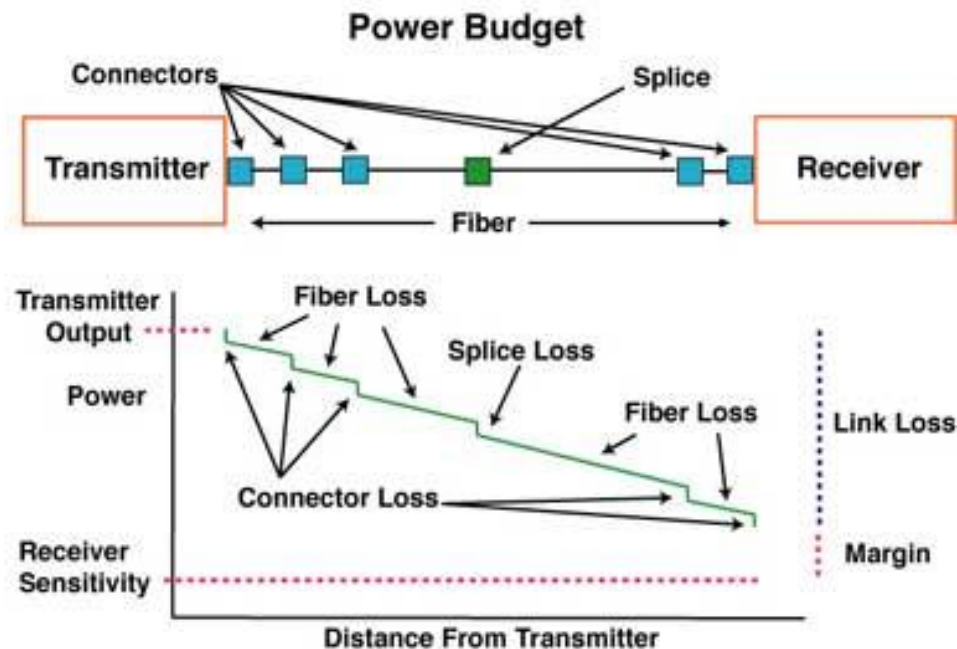
Ligações passivas na fibra ótica

- Emendas ou juntas



Ligações passivas na fibra ótica

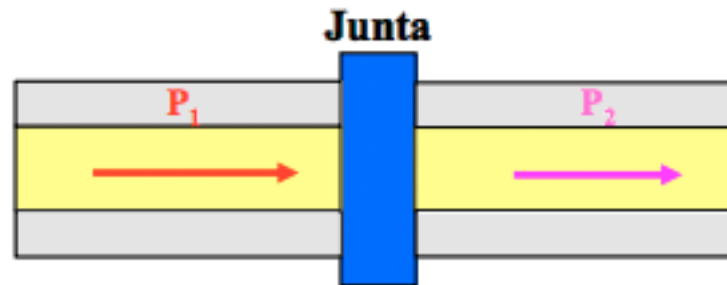
- Emendas ou juntas
 - As perdas vão-se acumulando ao longo de todo o percurso



Ligações passivas na fibra ótica

- Emendas ou juntas
 - Perdas por inserção
 - “Insertion Loss” (IL)
 - Causada pelos desalinhamentos geométricos
 - Esta atenuação é quantificada como:

$$Perda_{Inserção}(DB) = -10\text{Log}_{10}\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

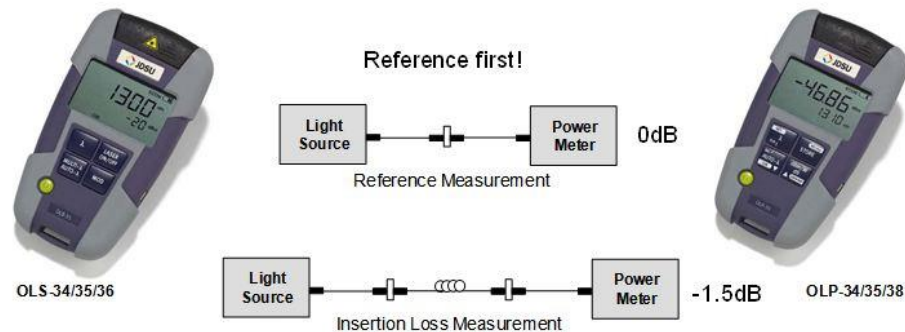


Ligações passivas na fibra ótica

- Emendas ou juntas
 - Perdas por inserção
 - Medição

Measuring Insertion Loss

Single Direction Insertion Loss Measurement with a Source and Power Meter

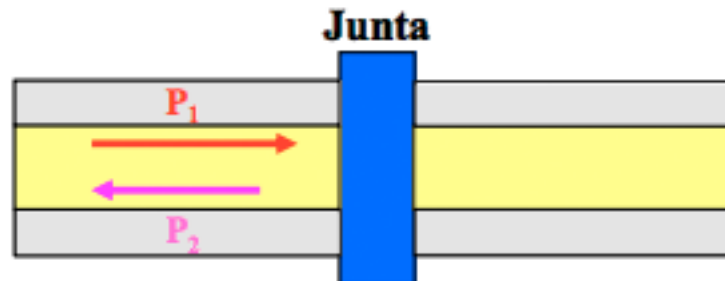


1, 2, or 3 jumper references can be performed – 2 jumper shown

Ligações passivas na fibra ótica

- Emendas ou juntas
 - Perdas por retorno
 - “Return loss” (RL)
 - É uma perda na fibra provocada pela reflexão do sinal numa junta e medida como:

$$Perda_{retorno}(DB) = 10Log_{10}\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$



Ligações passivas na fibra ótica

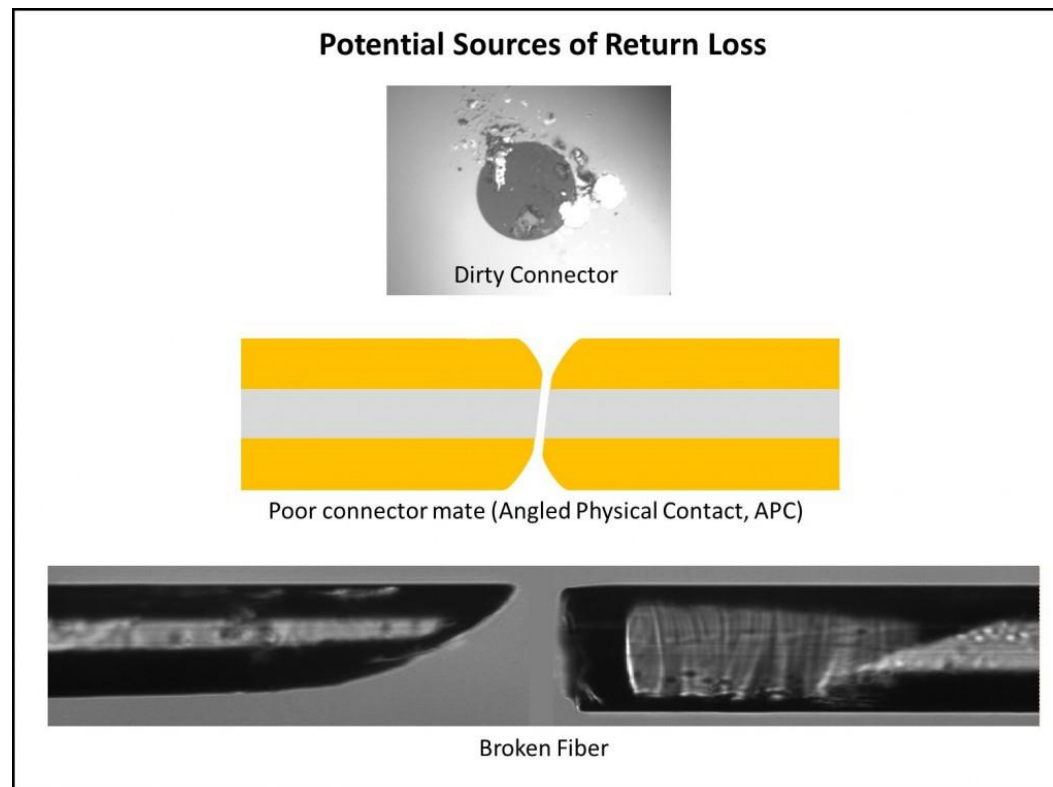
- Emendas ou juntas
 - Causas das perdas por retorno
 - Conetor sujo
 - Pequenas partículas de pó numa fibra de $5\mu m$ podem ser suficientes para o bloqueio do sinal
 - Fibra partida
 - Uma quebra numa fibra pode causar perdas IL e RL
 - Uma medição cuidadosa da fibra que revele valores em RL permite a identificação de uma quebra
 - O valor deveria ser nulo

Ligações passivas na fibra ótica

- Emendas ou juntas
 - Causas das perdas por retorno
 - Conetor mal ligado
 - Um má ligação de um conetor irá levar a um aumento do espaço de ar entre fibras
 - Ou entre fibra e emissor/detetor
 - Criação de interferência por caminhos múltiplos
 - Efeito criado por existirem múltiplos pontos que criem reflexão do sinal ótico

Ligações passivas na fibra ótica

- Emendas ou juntas
 - Causas das perdas por retorno

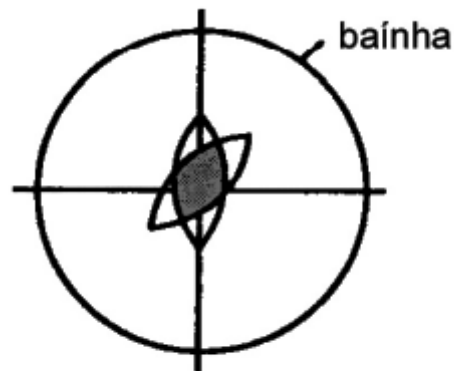


Ligações passivas na fibra ótica

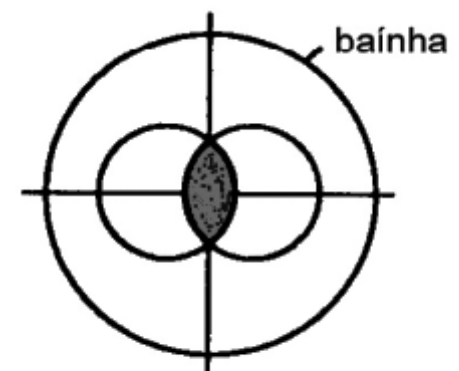
- Emendas ou juntas
 - Perdas por inserção intrínsecas
 - Diferenças na geometria dos núcleos



Diâmetros de núcleo diferentes



Elipticidade dos núcleos



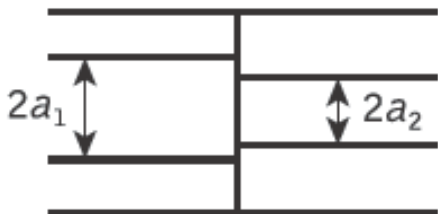
Excentricidade dos núcleos em relação à baínha

Ligações passivas na fibra ótica

- Emendas ou juntas
 - Perdas por inserção intrínsecas
 - Diferenças na geometria dos núcleos
 - Para fibras multimodo, com diâmetros de núcleo diferentes e índice de degrau idênticos

$$Perdas (dB) = \begin{cases} -10 \log_{10} \left(\frac{a_1}{a_2} \right)^2 & \text{para } a_1 < a_2 \\ 0 & \text{para } a_1 \geq a_2 \end{cases}$$

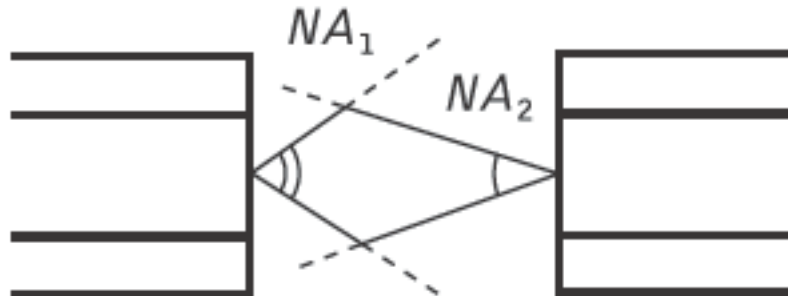
- a_1 é o raio da fibra de entrada
- a_2 é o raio da fibra de saída



Ligações passivas na fibra ótica

- Emendas ou juntas
 - Perdas por inserção intrínsecas
 - Diferenças na abertura numérica
 - Para fibras multimodo com índice em degrau idênticos

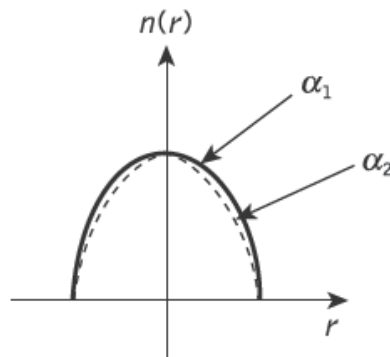
- $Perdas (dB) = \begin{cases} -10 \log_{10} \left(\frac{AN_2}{AN_1} \right)^2 & \text{para } AN_2 < AN_1 \\ 0 & \text{para } AN_2 \geq AN_1 \end{cases}$



Ligações passivas na fibra ótica

- Emendas ou juntas
 - Perdas por inserção intrínsecas
 - Diferenças de perfil de índices de refração
 - Para fibras multimodo com índice gradual idênticos

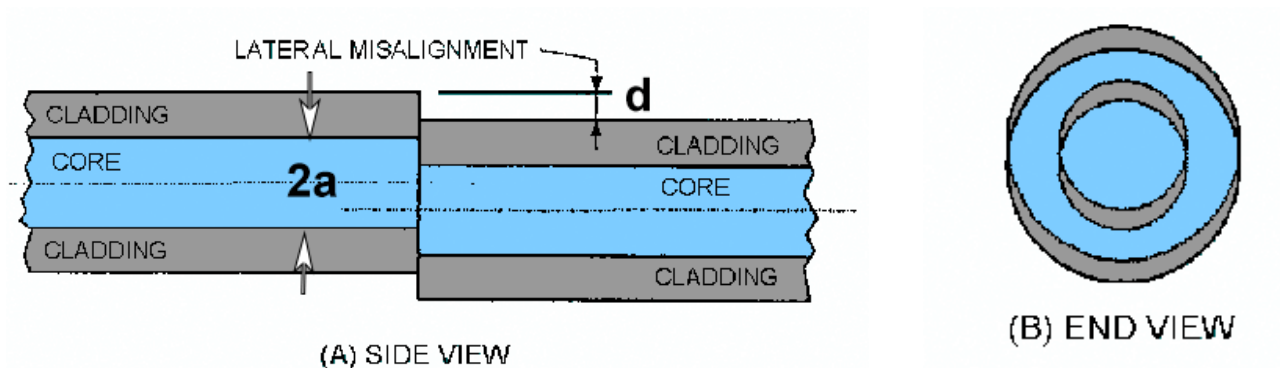
$$Perdas (dB) = \begin{cases} -10 \log_{10} \left(\frac{\alpha_2(\alpha_1 + 2)}{\alpha_1(\alpha_2 + 2)} \right) & \text{para } \alpha_2 < \alpha_1 \\ 0 & \text{para } \alpha_2 \geq \alpha_1 \end{cases}$$



Ligações passivas na fibra ótica

- Emendas ou juntas
 - Perdas por inserção extrínsecas
 - Alinhamento lateral
 - Para fibras multimodo com índice em degrau idênticos

$$Perdas (dB) = -10 \log_{10} \left\{ \frac{2}{\pi} \left[\arccos \left(\frac{d}{2a} \right) - \frac{d}{2a} \sqrt{1 - \left(\frac{d}{2a} \right)^2} \right] \right\}$$

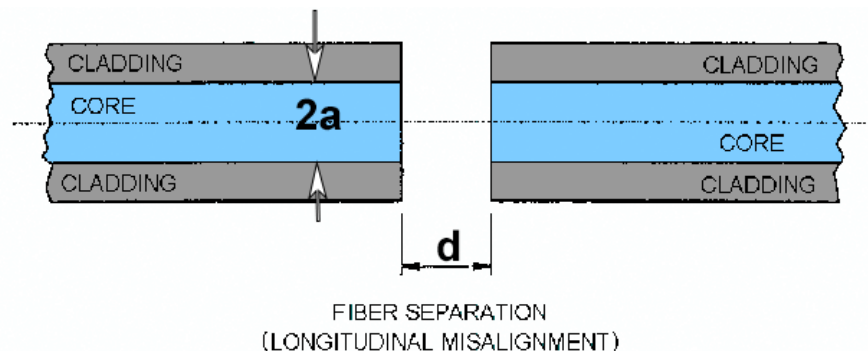


Ligações passivas na fibra ótica

- Emendas ou juntas
 - Perdas por inserção extrínsecas
 - Alinhamento longitudinal
 - Para fibras multimodo com índice em degrau idênticos

$$Perdas (dB) = -10 \log_{10} \left\{ \frac{a}{a + d \cdot \tan \left[\arcsin \left(\frac{AN}{n_0} \right) \right]} \right\}$$

Onde n_0 é o índice de refração da separação d

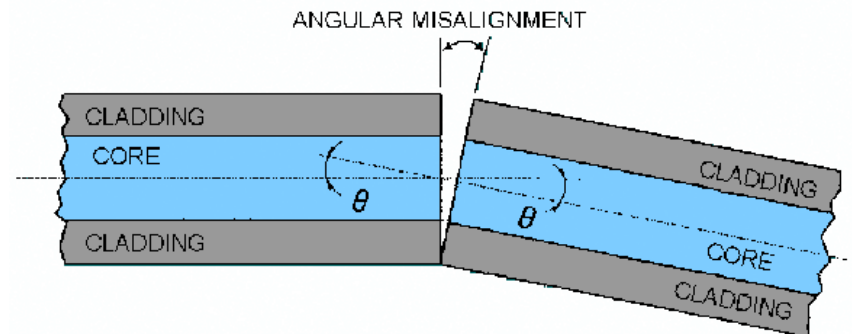


Ligações passivas na fibra ótica

- Emendas ou juntas
 - Perdas por inserção extrínsecas
 - Alinhamento angular
 - Para fibras multimodo com índice em degrau idênticos

$$Perdas (dB) \approx -10 \log_{10} \left[1 - \left(\frac{n_0 \cdot \theta}{180 \cdot AN} \right)^2 \right]$$

Onde n_0 é o índice de refração da separação das fibras



Ligações passivas na fibra ótica

- Emendas ou juntas
 - Perdas por inserção extrínsecas
 - Valores típicos por tipo de desalinhamento

