



# UEA

---

UNIVERSIDADE  
DO ESTADO DO  
AMAZONAS

---



**Escola Superior de Tecnologia – EST  
Curso de Engenharia Elétrica  
Redes de Comunicações de Dados I**

**M.Sc. Bruno da Gama Monteiro**

Manaus - AM  
2021

## Sumário

1 Meios de Transmissão Guiados

1.1 Meios Magnéticos

1.2 Pares Trançados

1.3 Cabo Coaxial

1.4 Linhas de Energia Elétrica

1.5 Fibra Óptica

## Sumário

1 Meios de Transmissão Guiados

1.1 Meios Magnéticos

1.2 Pares Trançados

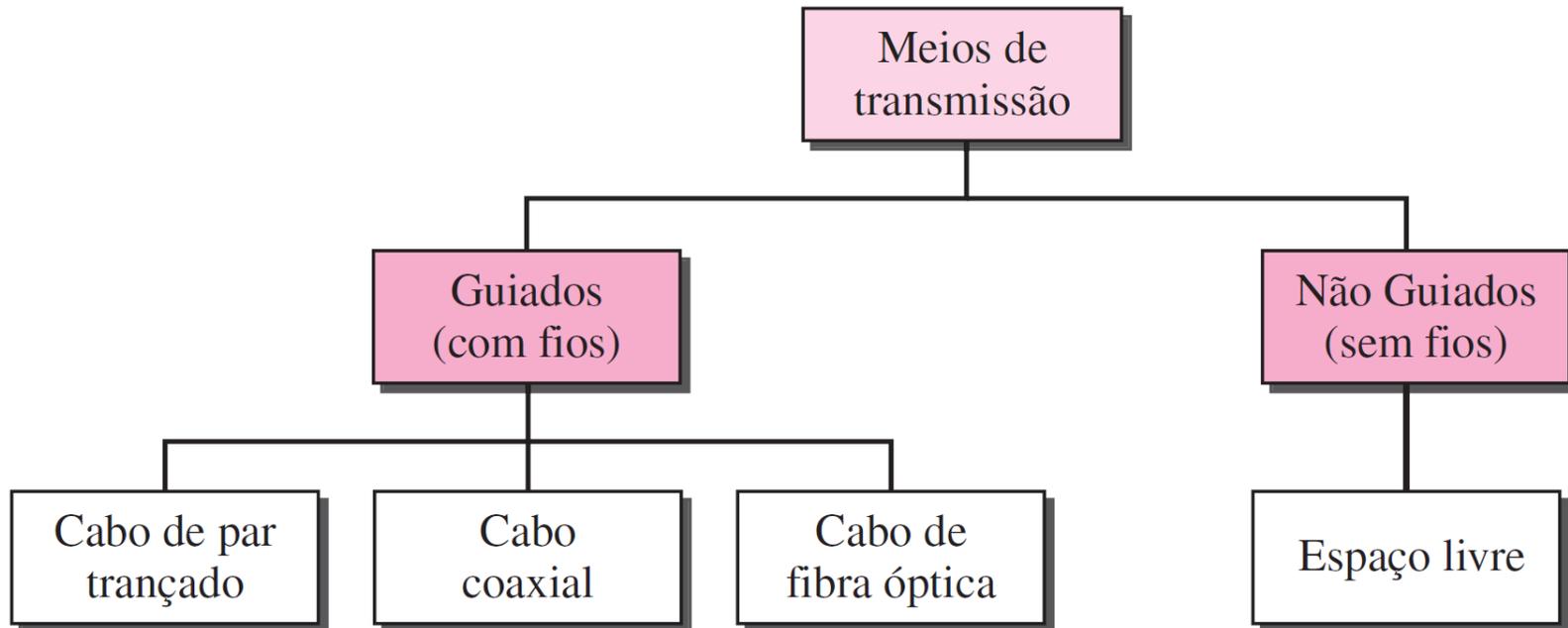
1.3 Cabo Coaxial

1.4 Linhas de Energia Elétrica

**1.5 Fibra Óptica**

# CAMADA FÍSICA

Em telecomunicações, meios de transmissão são divididos em duas amplas categorias: **guiados** e **não guiados**.

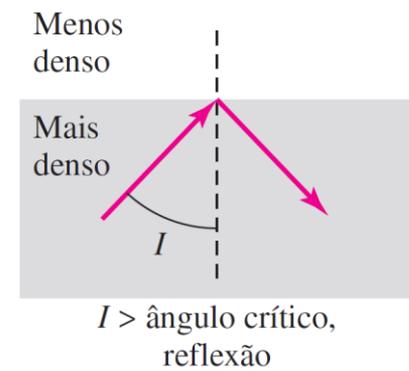
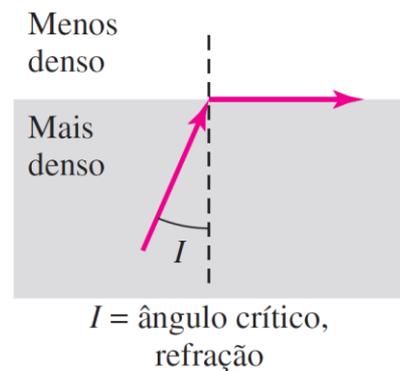
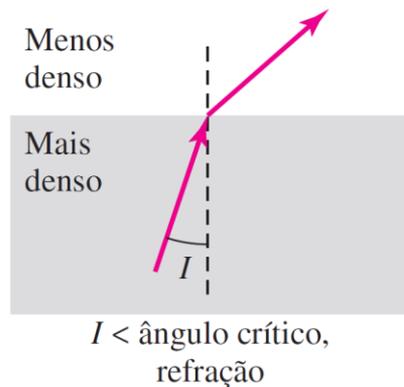


# 1.5 Fibra Óptica

Um cabo de **fibra óptica (F.O)** é construído sobre uma estrutura de vidro ou plástico e transmite sinais na forma de luz.

A luz trafega em linha reta desde que esteja se movimentando em um meio físico uniforme.

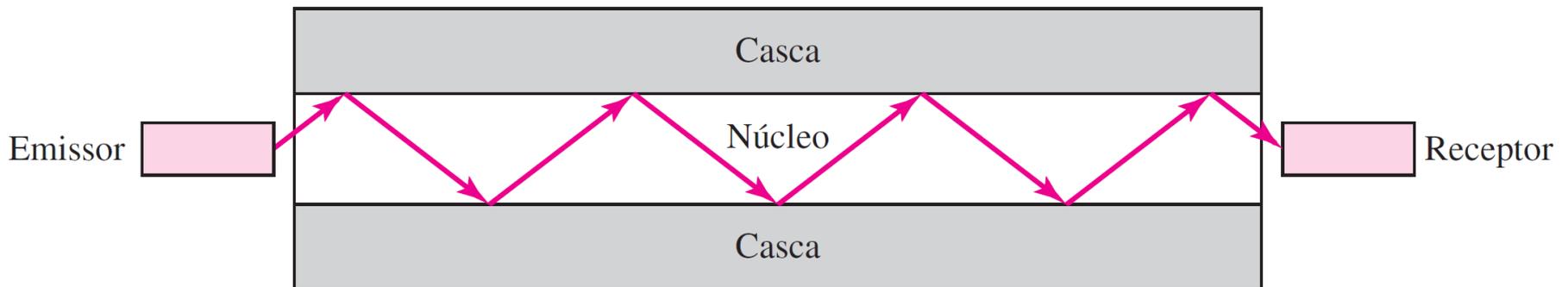
Um raio de luz trafegando por um meio ao passar para outro meio (de densidade diferente), muda de direção.



$I$  = ângulo de incidência

# 1.5 Fibra Óptica

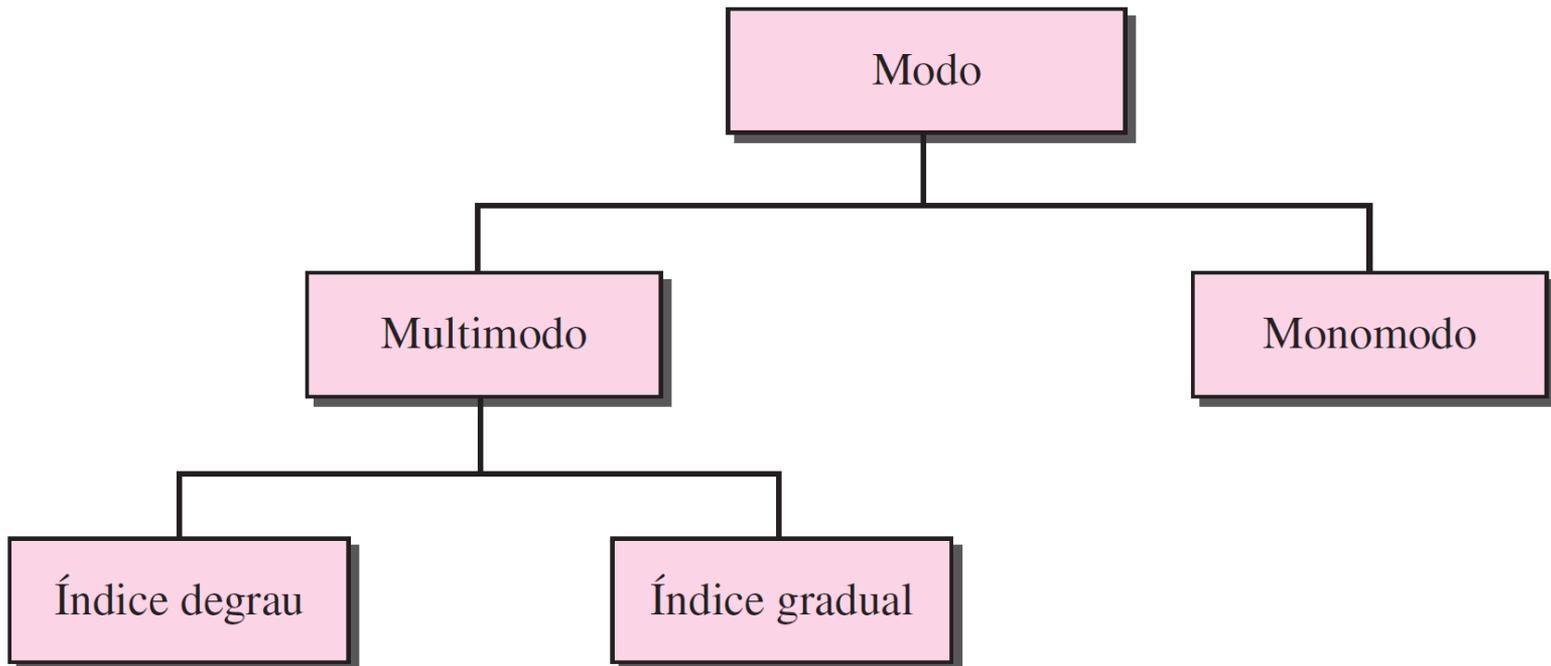
As **fibras ópticas** usam a reflexão para guiar a luz por um canal. Um núcleo de vidro ou plástico é revestido por uma casca de vidro ou plástico menos denso. A diferença na densidade dos dois materiais tem de ser tal que um fluxo de luz deslocando-se através do núcleo seja refletido pela casca em vez de ser refratado nele



# 1.5 Fibra Óptica

## Modos de Propagação:

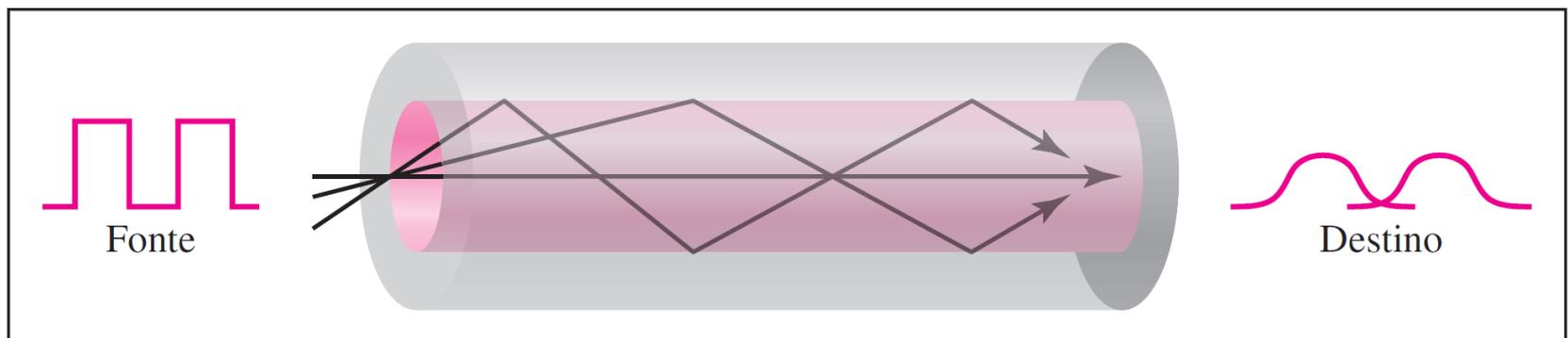
A tecnologia atual suporta dois modos (**multimodo** e **monomodo**) para a propagação da luz ao longo de canais ópticos, cada um dos quais exigindo fibras ópticas com características físicas diferentes.



## 1.5 Fibra Óptica

**Multimodo:** Os múltiplos fluxos de uma fonte de luz se deslocam ao longo do núcleo usando caminhos diferentes. A movimentação do fluxo dentro do cabo depende da estrutura do núcleo.

**Multimodo com índice degrau,** a densidade do núcleo permanece constante do centro para as bordas. Um fluxo de luz se desloca por essa densidade constante em linha reta até atingir a interface do núcleo e a casca.

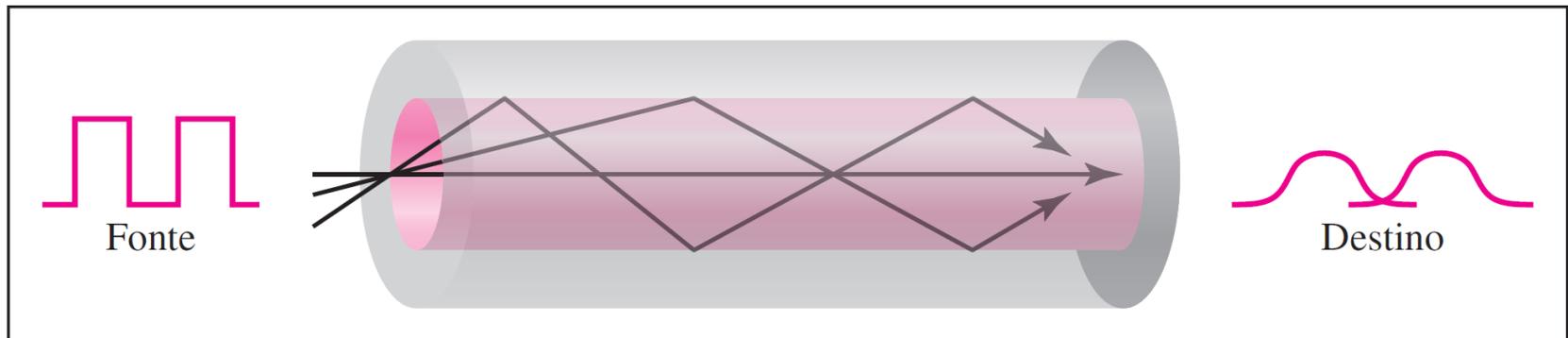


# 1.5 Fibra Óptica

## Multimodo com índice degrau

Na interface, há uma mudança abrupta em virtude da densidade menor; isso altera o ângulo de movimentação do fluxo.

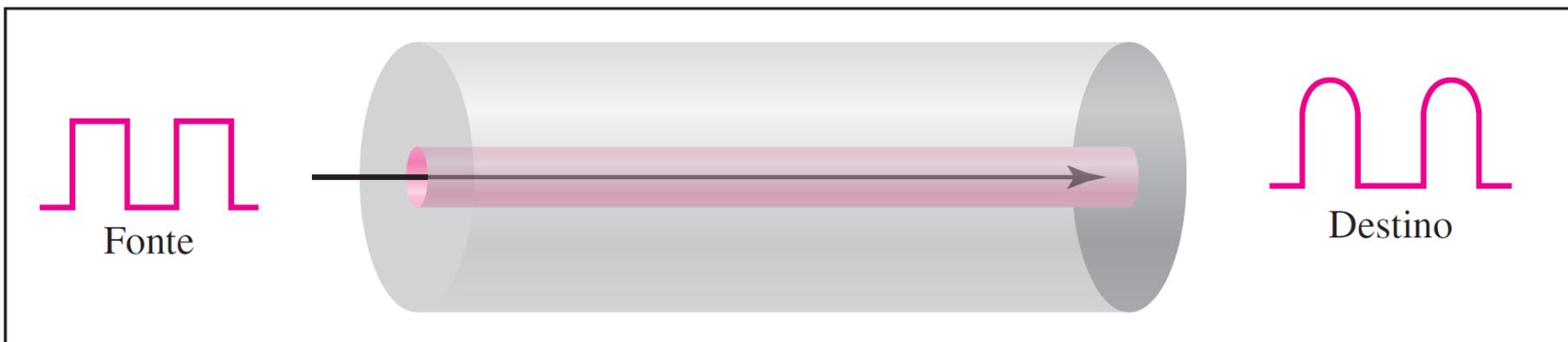
O termo **índice degrau** refere-se à repentina mudança, que contribui para a distorção do sinal à medida que ele trafega pela fibra.



## 1.5 Fibra Óptica

**Monomodo** utiliza fibras de índice degrau e uma fonte de luz extremamente focalizada que limita os fluxos a um pequeno intervalo de ângulos, todos próximos da horizontal.

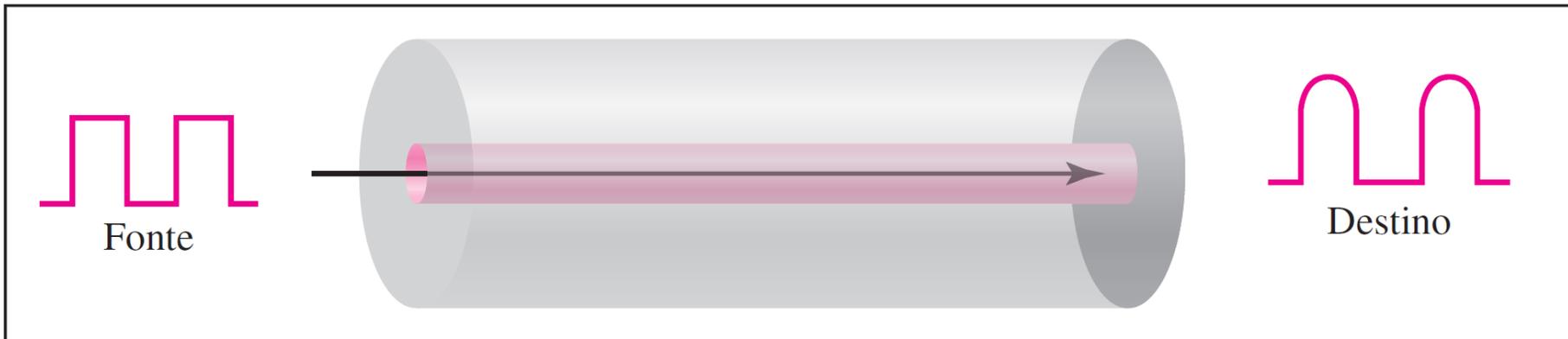
A **fibra monomodo** fabricada com um diâmetro de núcleo muito menor que a da fibra multimodo e com densidade substancialmente menor (índice de refração).



## 1.5 Fibra Óptica

A diminuição na densidade resulta em um ângulo crítico próximo de  $90^\circ$ , que faz que a propagação dos fluxos ocorra praticamente na horizontal.

A propagação de fluxos diferentes é praticamente idêntica e os retardos são desprezíveis. Todos os fluxos chegam “juntos” no destino e podem ser recombinaados com pequena distorção do sinal.



# 1.5 Fibra Óptica

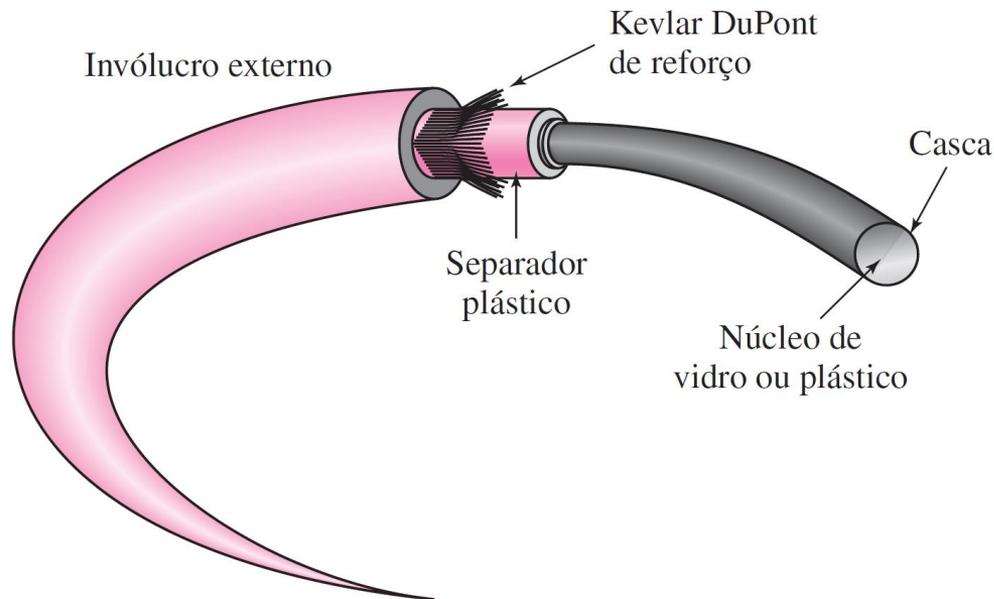
**Tamanhos de Fibras:** As F.O. são categorizadas pela razão entre o diâmetro de seus núcleos e o diâmetro de suas cascas, em micrômetros. Os tamanhos mais comuns são mostrados abaixo. O ultimo tamanho apresentado está disponível somente para fibras monomodo.

<i>Tipo</i>	<i>Núcleo (<math>\mu m</math>)</i>	<i>Diâmetro da Casca (<math>\mu m</math>)</i>	<i>Modo</i>
50/125	50	125	Multimodo, índice gradual
62,5/125	62	125	Multimodo, índice gradual
100/125	100	125	Multimodo, índice gradual
7/125	7	125	Monomodo

Tipos de fibras

# 1.5 Fibra Óptica

**Composição dos Cabos:** Invólucro externo fabricado em **PVC** ou **Teflon**. Dentro do invólucro, fibras de **Kevlar** para reforçar a estrutura do cabo. Kevlar é um material muito resistente, usado na fabricação de coletes à prova de bala. Abaixo do Kevlar, outro revestimento plástico para proteger a fibra. A F.O. se encontra no centro do cabo, formada pela casca e pelo núcleo.



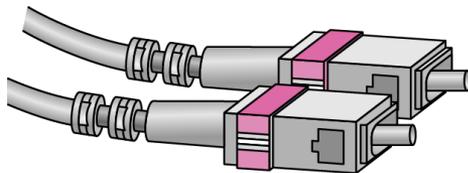
# 1.5 Fibra Óptica

## Conectores para Cabos de Fibra Óptica

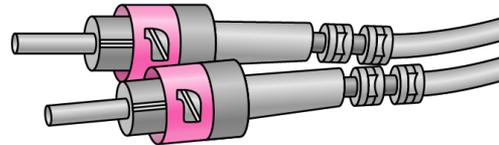
**1 - Conector SC** (canal de assinante) usado em TV a cabo e utiliza um sistema de travamento empurra/puxa.

**2 - Conector ST** (ponta reta) empregado para conectar o cabo de F.O. aos dispositivos de rede e usa um sistema de travamento baioneta, que é mais confiável que o empurra/puxa, utilizado no conector SC.

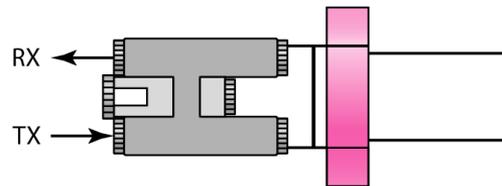
**3 - MT-RJ** conector que é do mesmo tamanho do RJ45.



SC connector



ST connector

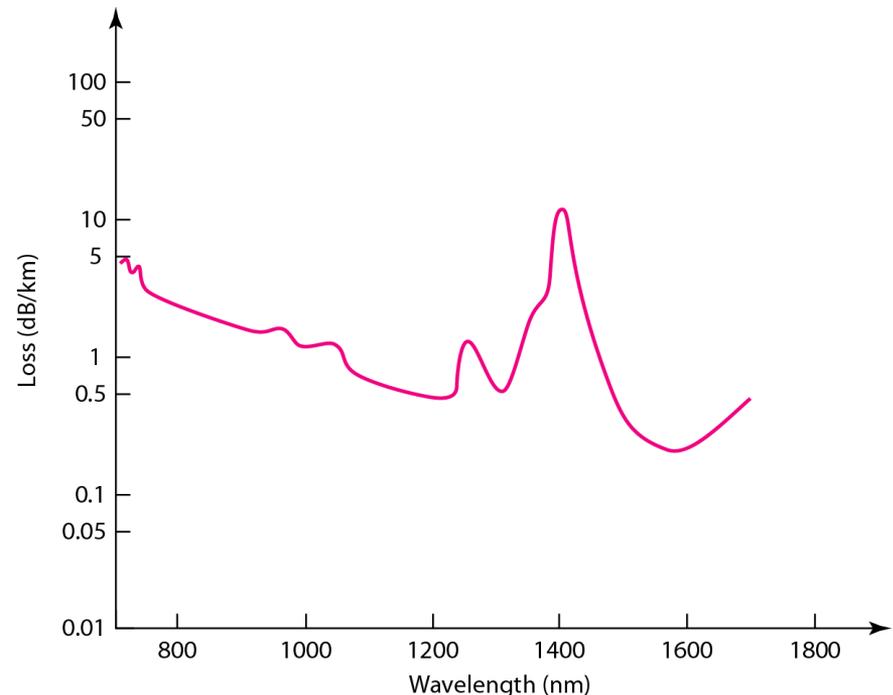


MT-RJ connector

# 1.5 Fibra Óptica

**Desempenho:** O gráfico de atenuação versus comprimento de onda mostra um fenômeno muito interessante em cabos de F.O. A atenuação é mais plana que nos cabos coaxiais e par trançado.

O desempenho é tal que precisamos de menos (na realidade, dez vezes menos) repetidores quando usamos cabos de fibra óptica.



## 1.5 Fibra Óptica

Empresas de TV a cabo usam uma combinação de F.O. e cabo coaxial (uma rede híbrida). A F.O. na estrutura do *backbone* e o cabo coaxial na conexão com as residências dos assinantes.

Configuração eficaz em termos de custos já que requisitos de largura de banda estreita na residência do assinante não justificam o emprego de F.O.

Redes locais, como 100Base-FX (Fast Ethernet) e 100Base-X, também usam cabos de fibra óptica.

## 1.5 Fibra Óptica

**Vantagens do Uso de Fibra Óptica:** O cabo de fibra óptica apresenta uma série de vantagens em relação ao cabo metálico (par trançado ou coaxial).

**a) Largura de banda mais ampla.** O cabo de F.O. pode suportar larguras de banda muito maiores (maiores velocidades) que o cabo de par trançado ou coaxial.

Atualmente, as taxas de dados e a utilização de largura de banda através de cabos de F.O. não são limitadas pelo meio de transmissão, mas sim pelas tecnologias de geração e recepção de sinais disponíveis.

# 1.5 Fibra Óptica

## Vantagens do Uso de Fibra Óptica

- b) Menor atenuação do sinal.** A distância de transmissão por F.O. é significativamente maior que a de qualquer outro meio de transmissão guiado. Um sinal pode percorrer 50 km sem precisar de regeneração. No caso de cabos coaxiais ou de par trançado, precisamos de repetidores a cada 5 km.
  
- c) Imunidade à interferência eletromagnética.** Ruídos eletromagnéticos não são capazes de afetar os cabos de fibra óptica.

# 1.5 Fibra Óptica

## Vantagens do Uso de Fibra Óptica

- d) **Resistência a materiais corrosivos.** O vidro é mais resistente a materiais corrosivos que o cobre.
- e) **Peso leve.** Os cabos de fibra óptica são muito mais leves que os cabos de cobre.
- f) **Maior imunidade à interceptação.** Os cabos de fibra óptica são mais imunes à interceptação que os cabos de cobre. Os cabos de cobre criam efeitos antena que podem ser facilmente interceptados

## 1.5 Fibra Óptica

**Desvantagens** Existem algumas desvantagens no uso de fibra óptica.

- a) **Instalação e manutenção.** O cabo de fibra óptica é uma tecnologia relativamente nova. Sua instalação e sua manutenção exigem mão-de-obra especializada, que não se encontra com facilidade.
- b) **Propagação unidirecional da luz.** A propagação da luz é unidirecional. Se precisarmos de comunicação bidirecional, serão necessários dois cabos de fibra óptica.

# 1.5 Fibra Óptica

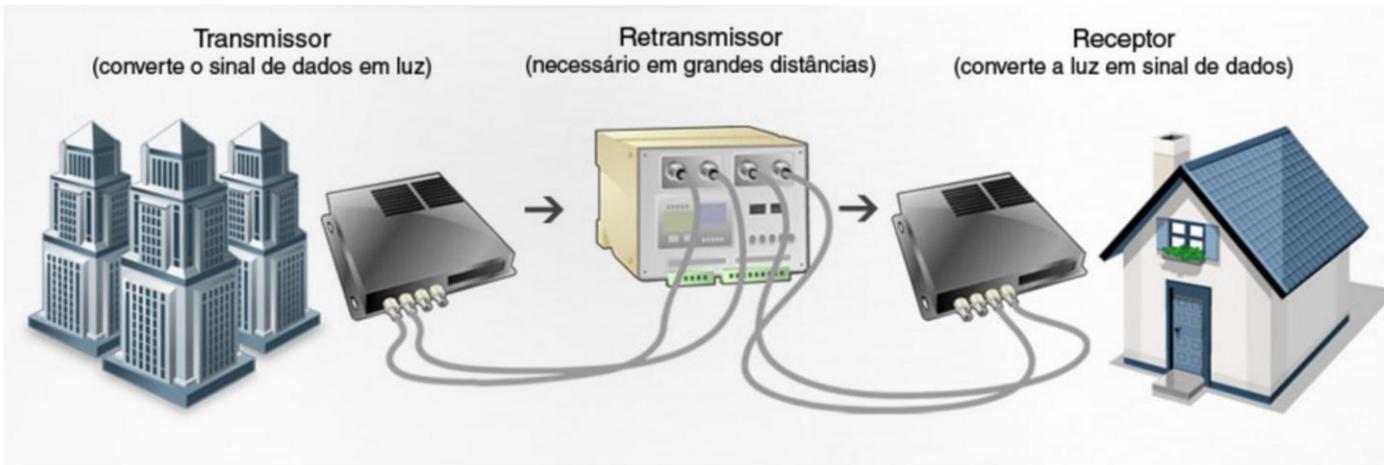
## Desvantagens

c) **Custo.** O cabo e as interfaces são relativamente mais caros que outros meios de transmissão guiados.

Se a demanda por largura de banda não for alta, muitas vezes o uso de fibra óptica não pode ser justificado.

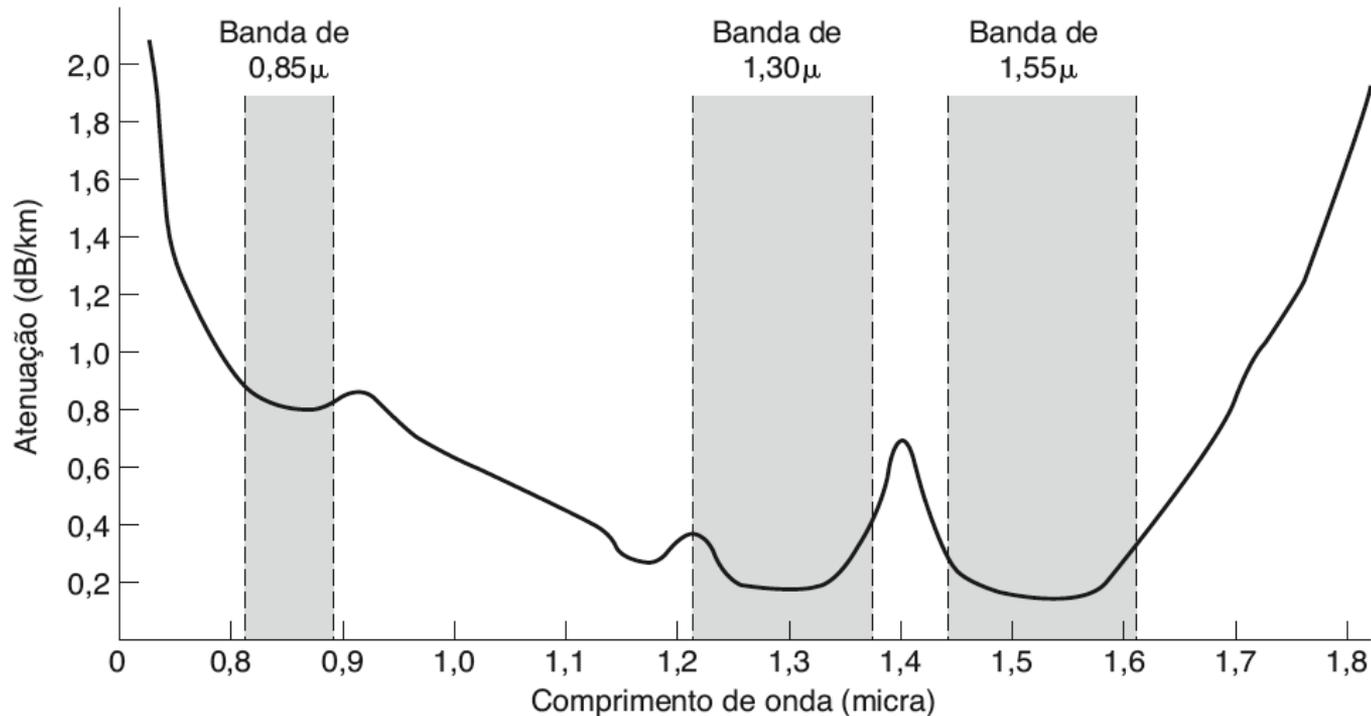
# 1.5 Fibra Óptica

A fibra óptica é usada para transmissão por longa distância nos *backbones* da rede, LANs de alta velocidade e acesso à Internet em alta velocidade, como FTTH (Fiber to the Home)



# 1.5 Fibra Óptica

A atenuação de luz através do vidro depende do comprimento de onda da luz e de algumas propriedades físicas do vidro. Definida como a razão da potência do sinal de entrada e saída.



Atenuação da luz na fibra na região do infravermelho

## 1.2 Transmissão de Rádio

Taxa máxima de dados de um canal de comunicação

- Teorema de Nyquist

$$\text{taxa máxima de dados} = 2B \log_2 V \text{ bits/s}$$

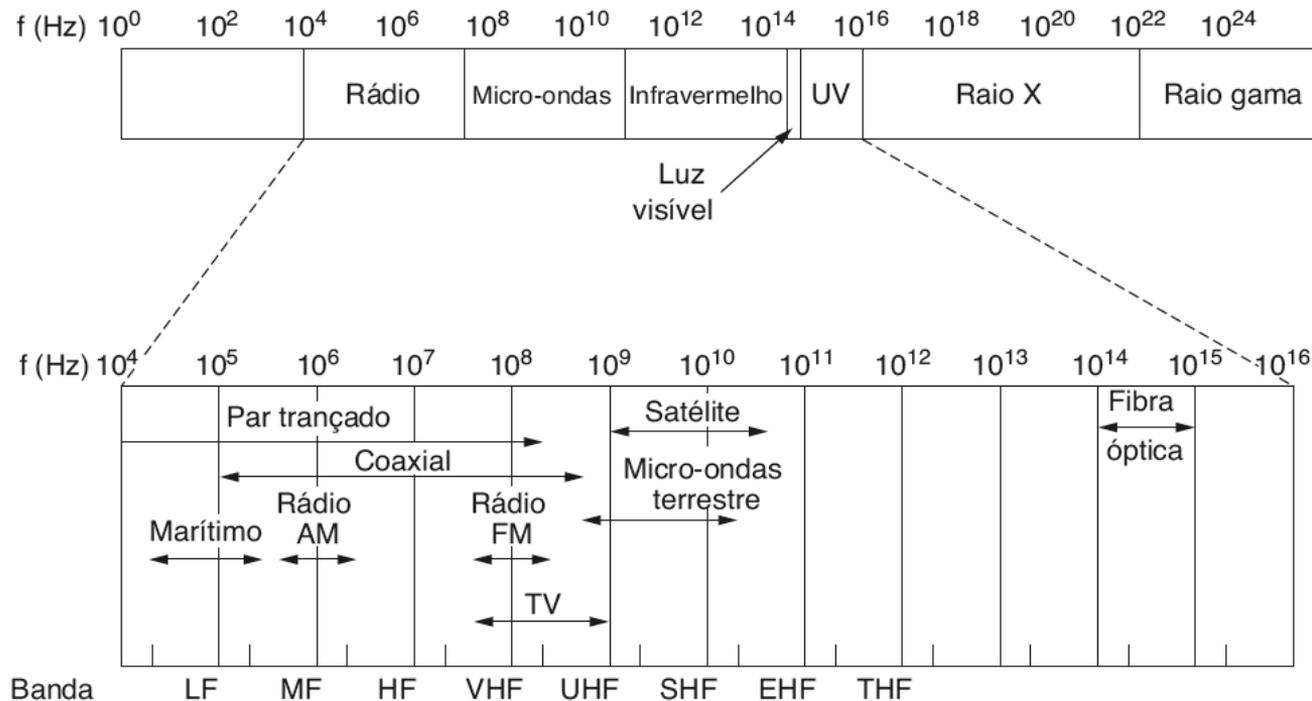
- Equação de Shannon e a relação sinal-ruído

$$\text{número máximo de bits/s} = B \log_2 (1 + S/N)$$

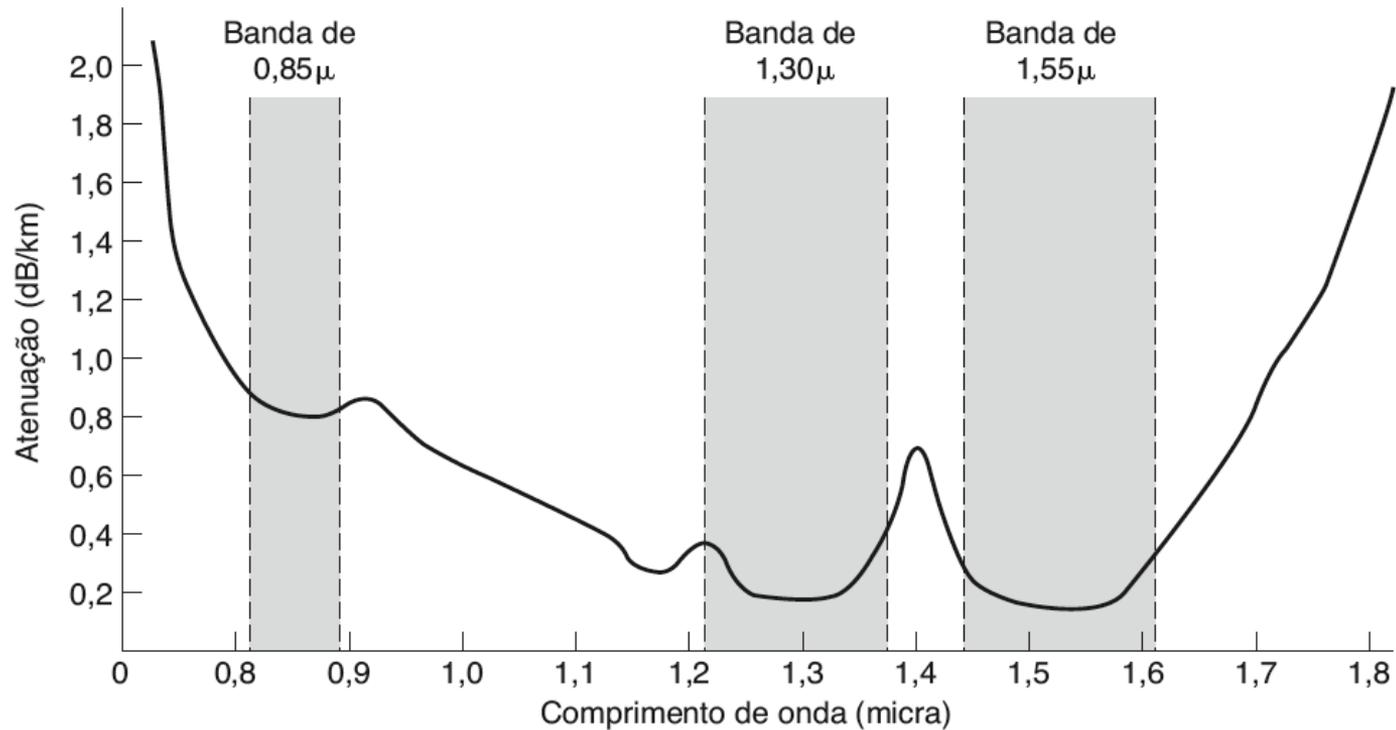
# 1.2 Transmissão de Rádio

Equação de **Shannon**: o volume de informações que uma o.e. é capaz de transportar depende da potência recebida e está diretamente relacionado à sua largura de banda.

Observando o espectro radioelétrico compreende-se porque temos um carinho todo especial pelas Fibras Ópticas.



# 1.2 Transmissão de Rádio



## 1.2 Transmissão de Rádio

Valores Nominais de Parâmetros Espectrais Comunicações Ópticas

$\lambda$ (nm)	$\lambda$ ( $\mu\text{m}$ )	$f$ (THz)
850	0,85	353
1300	1,30	231
1550	1,55	193

# 1.2 Transmissão de Rádio

Considerando  $\lambda_c = 1,30$  micron; Largura de banda (B) = 0,17 micron  
 ( $\lambda_1 = 1,385 \mu\text{m}$ ,  $\lambda_2 = 1,215 \mu\text{m}$ );  $\lambda_c = 1,385 - 1,215$ ,  $\lambda_c = 0,17 \mu\text{m}$

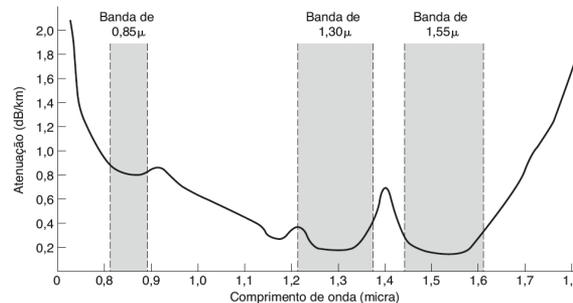
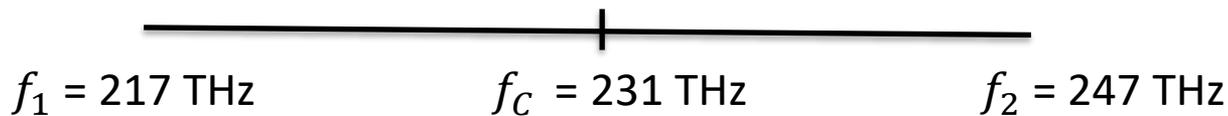
Considerando  $f_c = 3 \times 10^8 \text{ m/s} / 1,3 \times 10^{-6} \text{ m}$ ,  $f_c = 231 \text{ THz}$

$f_1 = 3 \times 10^8 \text{ m/s} / 1,385 \times 10^{-6} \text{ m}$   $f_1 = 217 \text{ THz}$

$f_2 = 3 \times 10^8 \text{ m/s} / 1,215 \times 10^{-6} \text{ m}$   $f_2 = 247 \text{ THz}$

$$B = f_2 - f_1 = 247 - 217,$$

$$B = 30 \text{ THz}$$



# 1.2 Transmissão de Rádio

Para uma relação Sinal/Ruído (S/N) = 10 db

$$10 \log (S/N) = 10; (S/N) = 10^{10/10}$$

**S/N = 10 vezes**

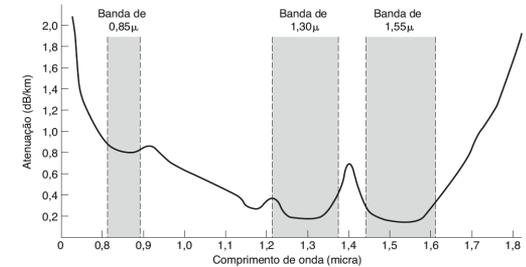
**Largura de Banda, B= 30 THz**

**Nº Máx. de bits/s (C) = B  $\log_2 (1 + S/N)$  Shannon**

$$C = 30 \log_2(1 + 10), C = 30 \log_2(11)$$

$$C = 30(\log_{10} 11 / \log_{10} 2) = 30 (1,041 / 0,301) = 30 \times 3,458;$$

**C = 104 Tbps**



## 1.5 Fibra Óptica

- A fibra óptica é usada para transmissão por longa distância nos *backbones* da rede, LANs de alta velocidade e acesso à Internet em alta velocidade, como FTTH (*Fiber to the Home*)
- A evolução na comunicação de dados geograficamente distribuídos é cada vez maior. Passamos de 56 Kbps para 1 Gbps, tendo uma melhora de 125 vezes em cada década.
- Com a atual tecnologia de fibra óptica, a largura de banda pode ultrapassar a casa dos 50.000 Gbps (50 Tbps)

## 1.5 Fibra Óptica

- Limite Atual = 100 Gbps?

Nova rede óptica da Huawei consegue alcançar 600 Gbps em cada fibra

“A Huawei anunciou um novo padrão para redes de fibra óptica. A empresa afirma que, usando chips OptiXtreme oDSP fabricados por ela mesma, é possível alcançar velocidades de até 600 Gbps em cada fibra de sua rede” ...

...Isso porque ela funciona em um comprimento de onda único e ajustável. Dessa maneira, as operadoras podem configurar a velocidade de transmissão de acordo com a demanda (entre 100 e 600 Gbps) e obter sempre a opção mais eficiente...

# 1.5 Fibra Óptica

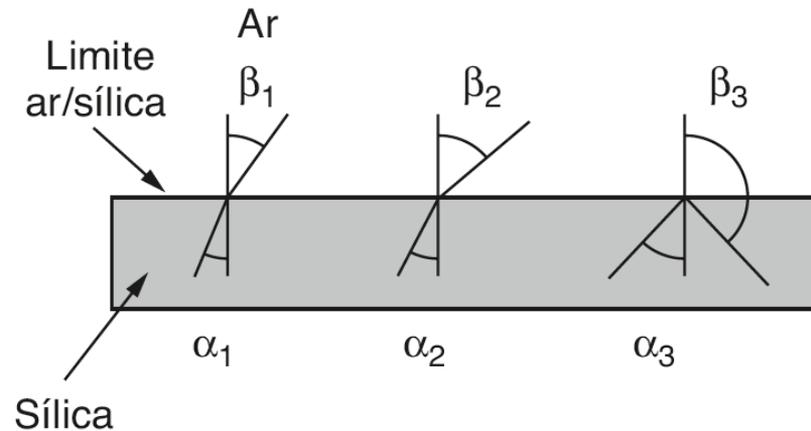
- Um sistema de transmissão óptica tem três componentes fundamentais:
  - fonte de luz**
  - meio de transmissão**
  - detector**
- Por convenção, um pulso de luz indica um bit 1, e a ausência de luz representa um bit zero.
- O meio de transmissão é uma fibra de vidro ultrafina.
- O detector gera um pulso elétrico quando entra em contato com a luz.

## 1.5 Fibra Óptica

- Quando instalamos uma fonte de luz em uma extremidade de uma fibra óptica e um detector na outra, temos um sistema de transmissão de dados unidirecional que aceita um sinal elétrico, converte o sinal e o transmite por pulsos de luz; depois, na extremidade de recepção, a saída é reconvertida em um sinal elétrico.
- Esse sistema de transmissão desperdiçaria luz e na prática não teria a menor utilidade, exceto como um interessante princípio físico.

# 1.5 Fibra Óptica

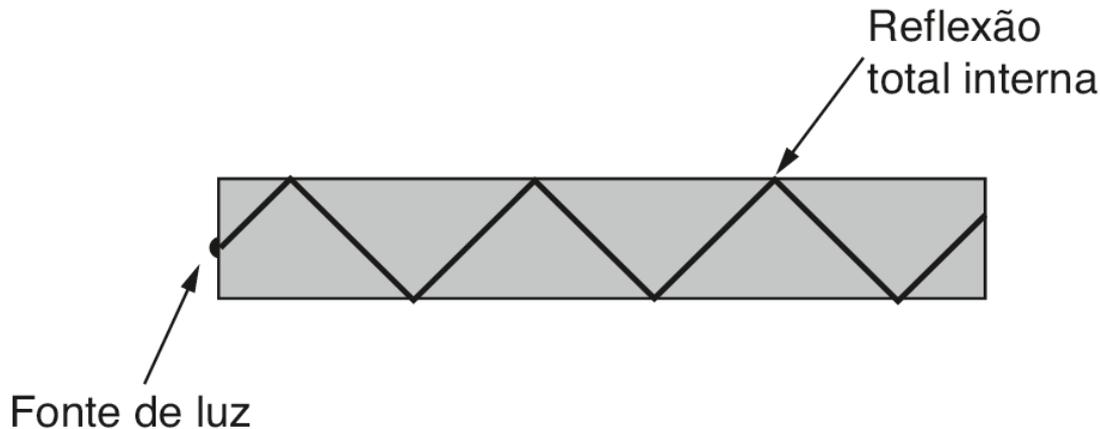
- Quando um raio de luz passa de um meio para outro — por exemplo, de sílica fundida para o ar — o raio é refratado (desviado) na fronteira sílica/ar, como mostra a figura.



Três exemplos de raios de luz incidentes internamente em diferentes ângulos na fronteira sílica/ar.

## 1.5 Fibra Óptica

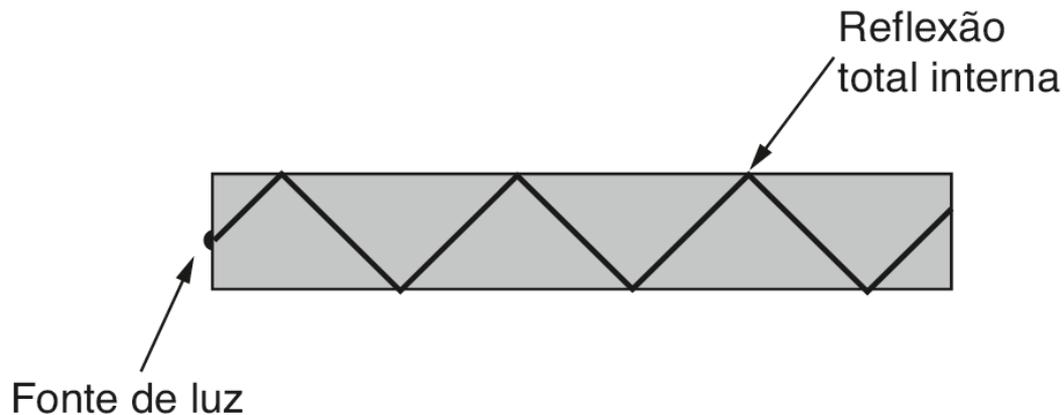
- A intensidade da refração depende das propriedades dos dois meios físicos (índices de refração).
- Para ângulos de incidência que ultrapassam um certo valor crítico, a luz é refletida de volta para a sílica; nada escapa para o ar.
- Um raio de luz incidente no **ângulo crítico** ou acima dele é interceptado no interior da fibra, e pode se propagar por muitos quilômetros sem sofrer praticamente nenhuma perda.



Luz confinada pela reflexão total interna.

## 1.5 Fibra Óptica

- O exemplo da Figura mostra apenas um raio interceptado mas, como qualquer raio de luz incidente na fronteira acima do ângulo crítico será refletido internamente, muitos raios distintos estarão ricocheteando em diferentes ângulos, sendo tal fibra conhecida como **fibra multimodo**.

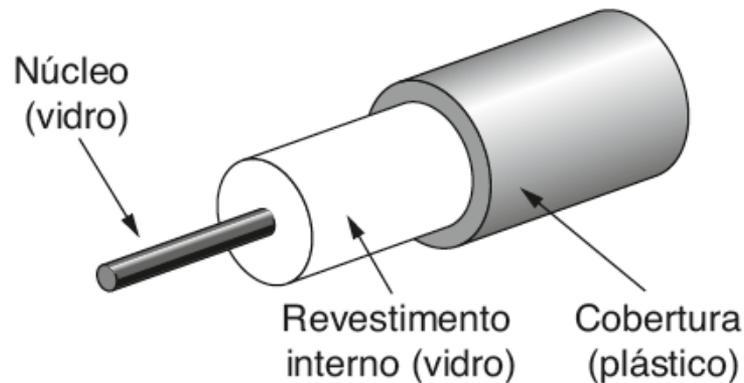


## 1.5 Fibra Óptica

- No entanto, se o diâmetro da fibra for reduzido a alguns comprimentos de onda de luz, a fibra agira como um guia de onda, e a luz só poderá se propagar em linha reta, sem ricochetejar, produzindo assim uma **fibra de modo único** ou **fibra monomodo**.
- As **fibras monomodo** são mais caras, mas são amplamente utilizadas em distâncias mais longas.  
Exemplo: Transmissão de dados a 100 Gbps por 100km sem amplificação.

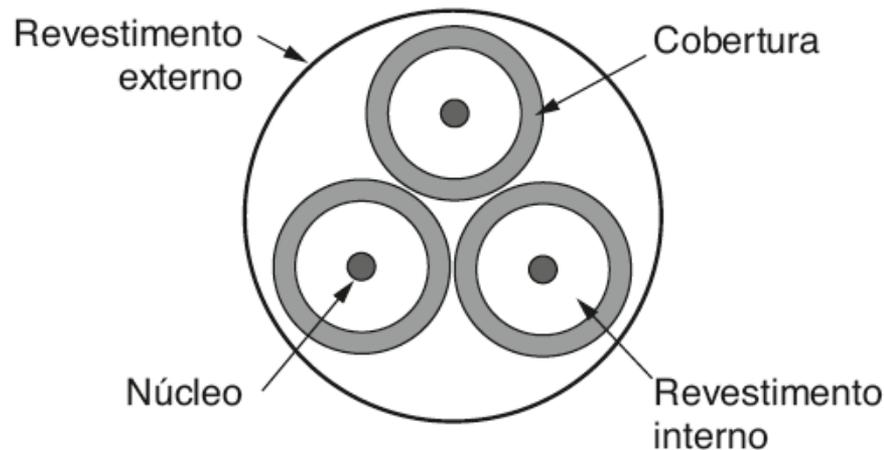
# 1.5 Fibra Óptica

- Os cabos de fibra óptica são semelhantes aos cabos coaxiais, exceto por não terem a malha metálica.
- Na figura temos a vista lateral de uma única fibra. No centro, fica o núcleo de vidro através do qual se propaga a luz. Nas **fibras multimodo**, o núcleo tem um diâmetro que corresponde a espessura de um fio de cabelo humano.



# 1.5 Fibra Óptica

- O núcleo é envolvido por um revestimento de vidro com um índice de refração inferior ao do núcleo, para manter toda a luz no núcleo. Em seguida, ha uma cobertura de plástico fino para proteger o revestimento interno.
- Geralmente, as fibras são agrupadas em feixes, protegidas por um revestimento exterior. A figura mostra um cabo com três fibras.



## 1.5 Fibra Óptica

- Normalmente, os cabos de fibra terrestres são colocadas no solo a um metro da superfície, onde ocasionalmente são atacados por pequenos animais roedores.
- Próximo ao litoral, cabos de fibra transoceânicos são enterrados em trincheiras por uma espécie de arado marítimo.
- Em águas profundas, eles são depositados no fundo, onde podem ser arrastados por redes de pesca ou comidos por lulas gigantes.

## 1.5 Fibra Óptica

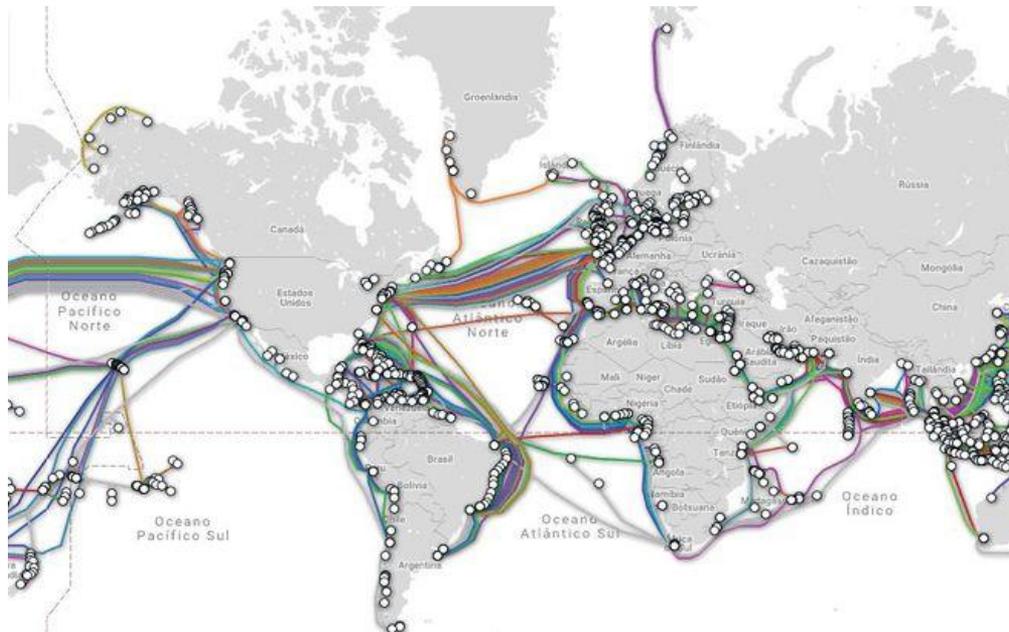
- Segundo o *International Cable Protection Committee*, atualmente os cabos submarinos carregam 95% das informações de voz e dados transmitidas internacionalmente, enquanto os satélites carregam 5%.



- O Comitê Internacional de Proteção de Cabos é uma organização sem fins lucrativos de proteção de cabos submarinos. Foi formada em 1958 para promover a proteção de telecomunicações internacionais e cabos submarinos de energia contra riscos humanos e naturais. (Wikipedia (inglês))

# 1.5 Fibra Óptica

- Atualmente, os cabos submarinos são responsáveis por 99% das comunicações transoceânicas (entre locais separados por um oceano) feitas em todo o mundo. Com fibra ótica, os cabos conseguem transmitir dados como voz, imagens e mensagens.
- Só no oceano Atlântico há 56 cabos em operação.



## 1.5 Fibra Óptica

- As fibras podem estar conectadas de três maneiras diferentes:
  1. Elas podem ter conectores em suas extremidades e serem plugadas em soquetes de fibra. Os conectores perdem de 10 a 20% da luz, mas facilitam a reconfiguração dos sistemas.
  2. Em segundo lugar, elas podem ser unidas mecanicamente. As duas extremidades são cuidadosamente colocadas uma perto da outra em uma luva especial e fixadas no lugar.
  3. Duas peças de fibra podem ser fundidas de modo a formar uma conexão sólida. A união por fusão é quase tão boa quanto uma fibra sem emendas; no entanto, mesmo nesse caso, há uma pequena atenuação.

# 1.5 Fibra Óptica

- Dois tipos de fontes de luz são usadas geralmente para fazer a sinalização: os **diodos emissores de luz** (LEDs — *Light Emitting Diodes*) e os **lasers semicondutores**.

Item	LED	Laser semicondutor
Taxa de dados	Baixa	Alta
Tipo de fibra	Multimodo	Multimodo ou modo único
Distância	Curta	Longa
Vida útil	Longa	Curta
Sensibilidade à temperatura	Insignificante	Substancial
Custo	Baixo	Dispendioso

Comparação entre diodo semicondutor e LEDs emissores de luz

# Referências

TANENBAUM, Andrew. S; Wetherall, David. **Redes de Computadores**. 5.ed. Traduzido por Daniel Vieira. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011. Tradução de: Computer networks.

**FIM**

## **Básica:**

- 1 STALLINGS, William, Data and computer communications – Prentice Hall – 1997.
- 2 KUROSE, James F., Redes de computadores e a internet. Ed. São Paulo, 2006.
- 3 TANENBAUM, André S., rede de Computadores, Ed. Campos, 2003.

## **Complementar:**

- 4 SOUZA, Lindeberg Barros, Redes de Computadores: Dados, Voz, Imagem, Ed. Érica, 2005.
- 5 SOARES, Luiz Fernando Gomes, Rede de Computadores: Das redes LANs, MANs e WANs Redes ATM – Ed. Campos, 1995
- 6 SOARES, Neto Vicente. Telecomunicação – Redes de alta velocidade – Ed. Érica, 2005.