

Nas aulas passadas...

- ... sinais (largura de banda, velocidade de propagação, análise espectral - Fourier)
- ... carregando informação codificada (nyquist, shannon)
- ... sinais de mídia contínua (audio e vídeo) e sua conversão digital
- ... ATM + CBR, VBR, ABR, etc

---nesta aula---

Meio físico: o caso das Fibras óticas, caracterização, medidas de desempenho

Glossário

- Modos de Propagação:
 - Multimodo
 - Monomodo
- Perdas
 - Dispersão
 - Atenuação
 - Espalhamento
 - Não Linearidade

Fibras óticas e suas aplicações

- FTTH & PONs
- Redes híbridas
- Projeto Kyatera & Giga
- Tendências

Conceitos básicos

– **velocidade de propagação depende do índice de refração**

- $n=1,46$ \rightarrow $v=2.1 \times 10^8 \text{ m/s}$

» ou,

- 0.69 da velocidade da luz no vácuo

Conceitos básicos

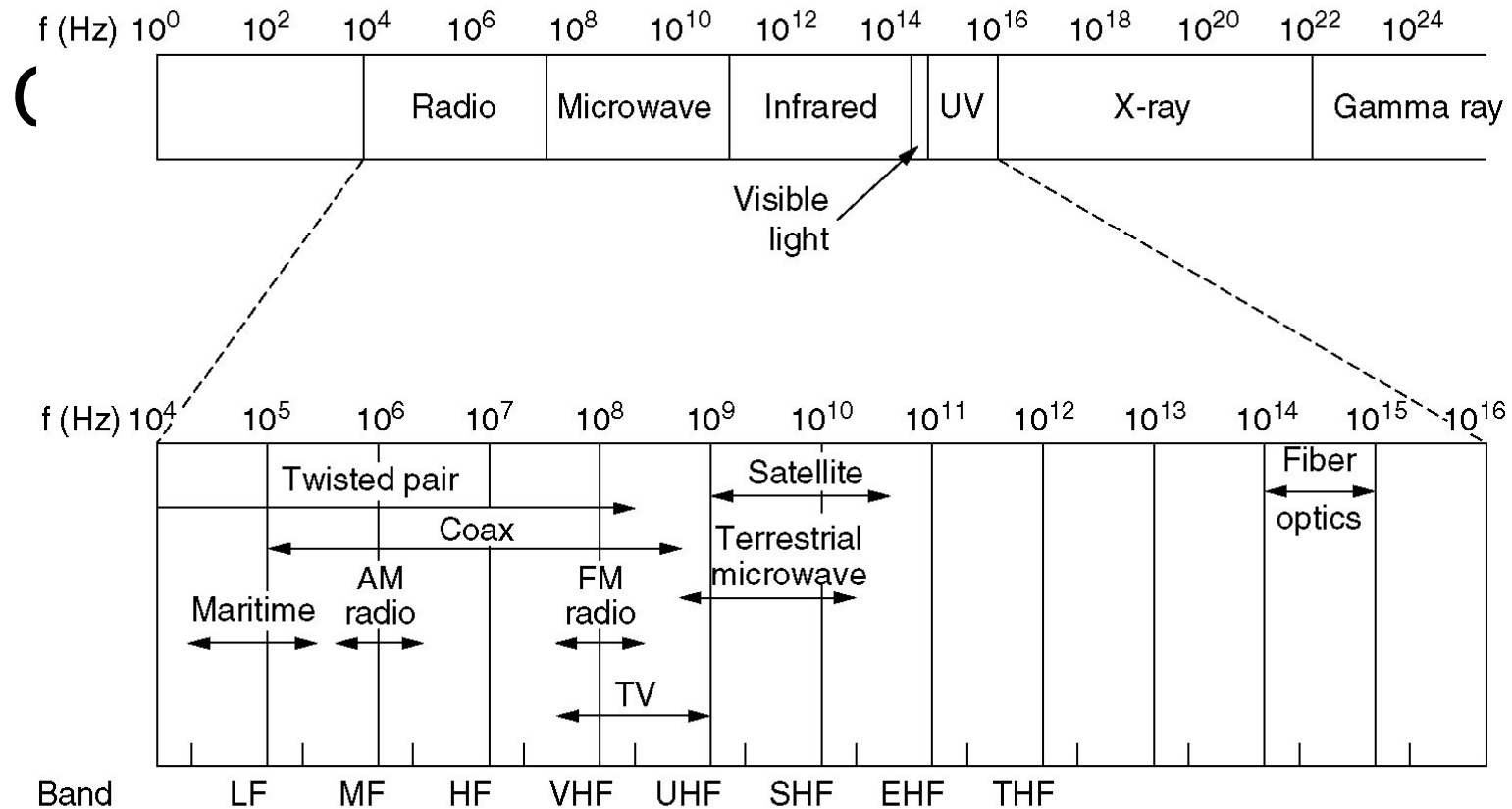
– VANTAGENS

- maior largura de banda
- volume e peso menor que cobre
- imunidade eletromagnética
- melhor relação atenuação/distância => menos repetidores
- -> maior confiabilidade

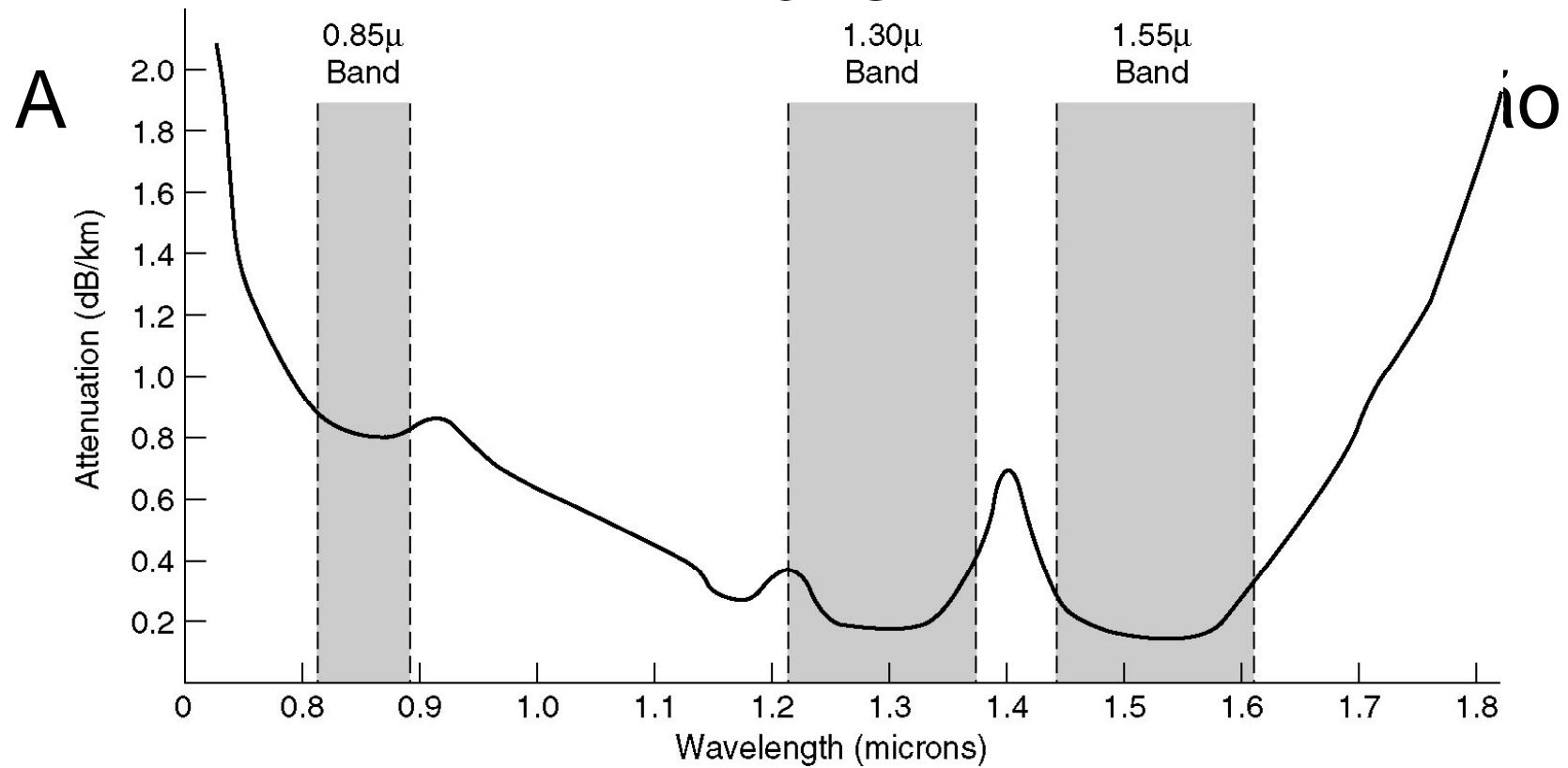
– DESVANTAGENS

- incompatibilidade com o hardware dos sistemas eletrônicos: gargalo nos pontos de conversão (conversão eletro-óptica)

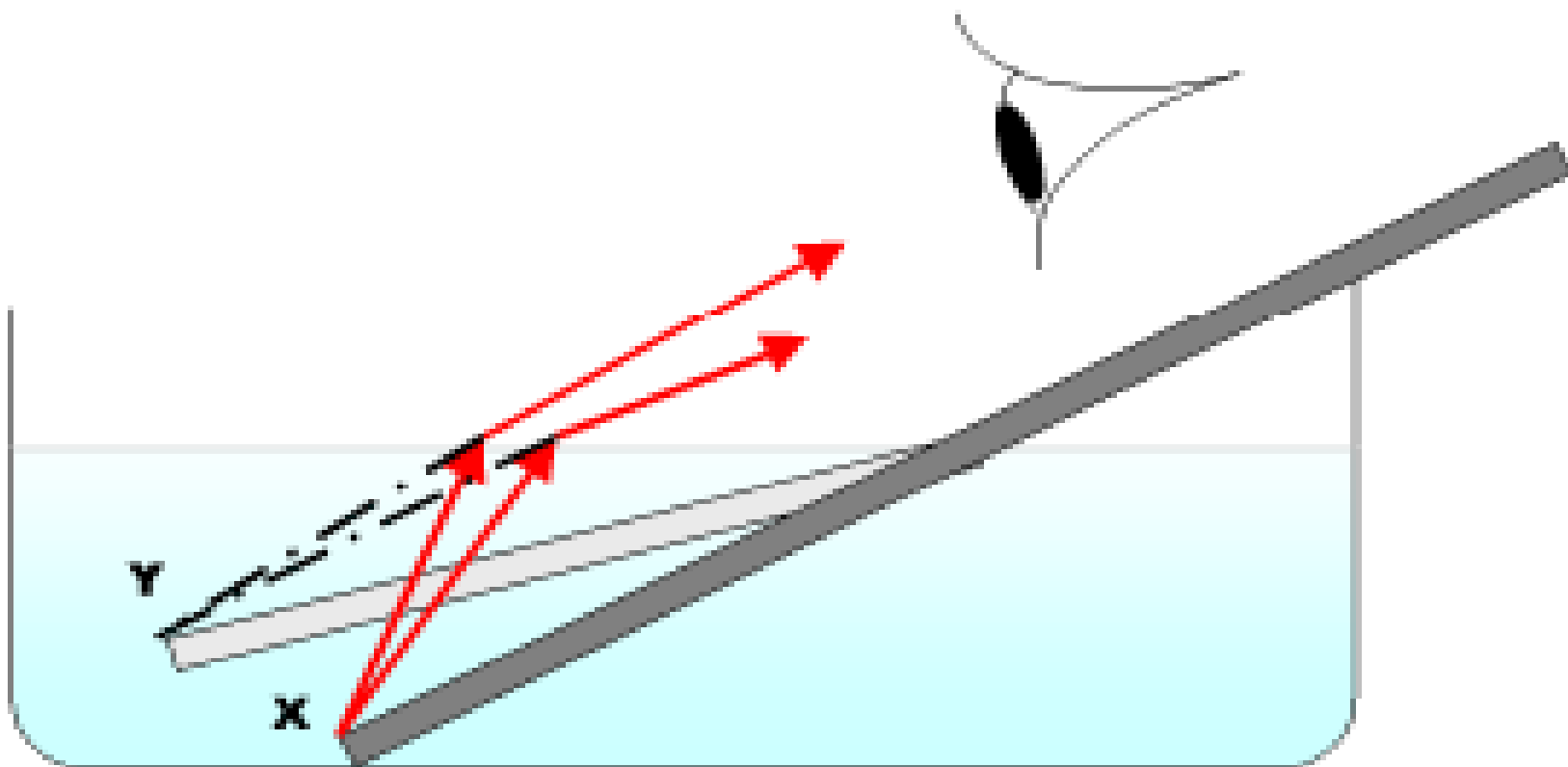
O Espectro Eletromagnético



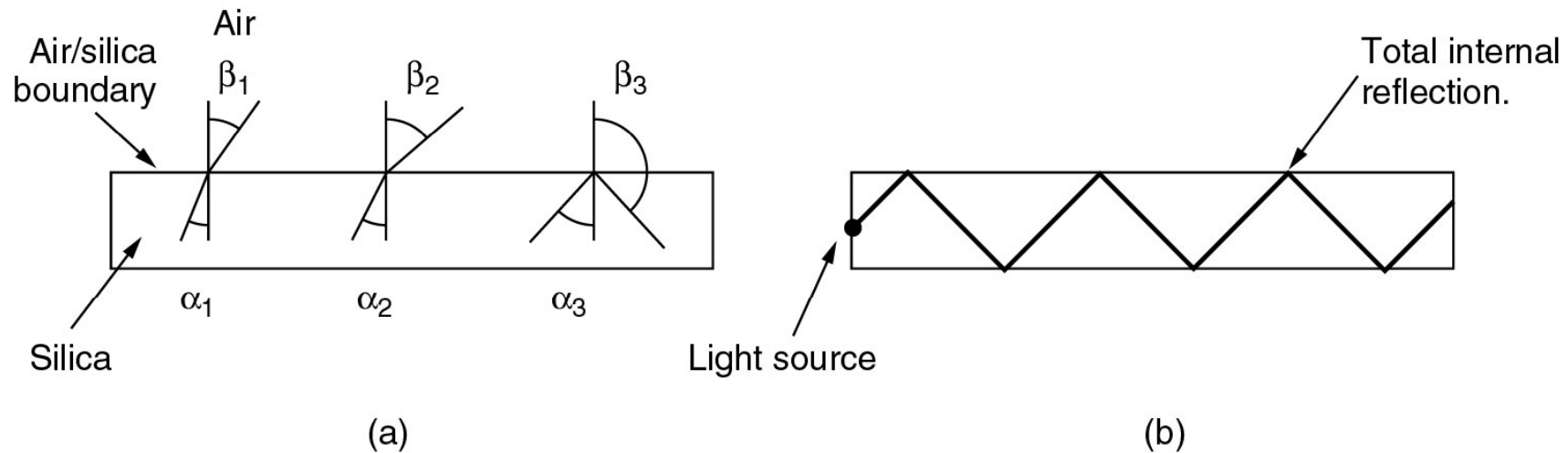
Transmissão de Luz através de Fibra



Refração

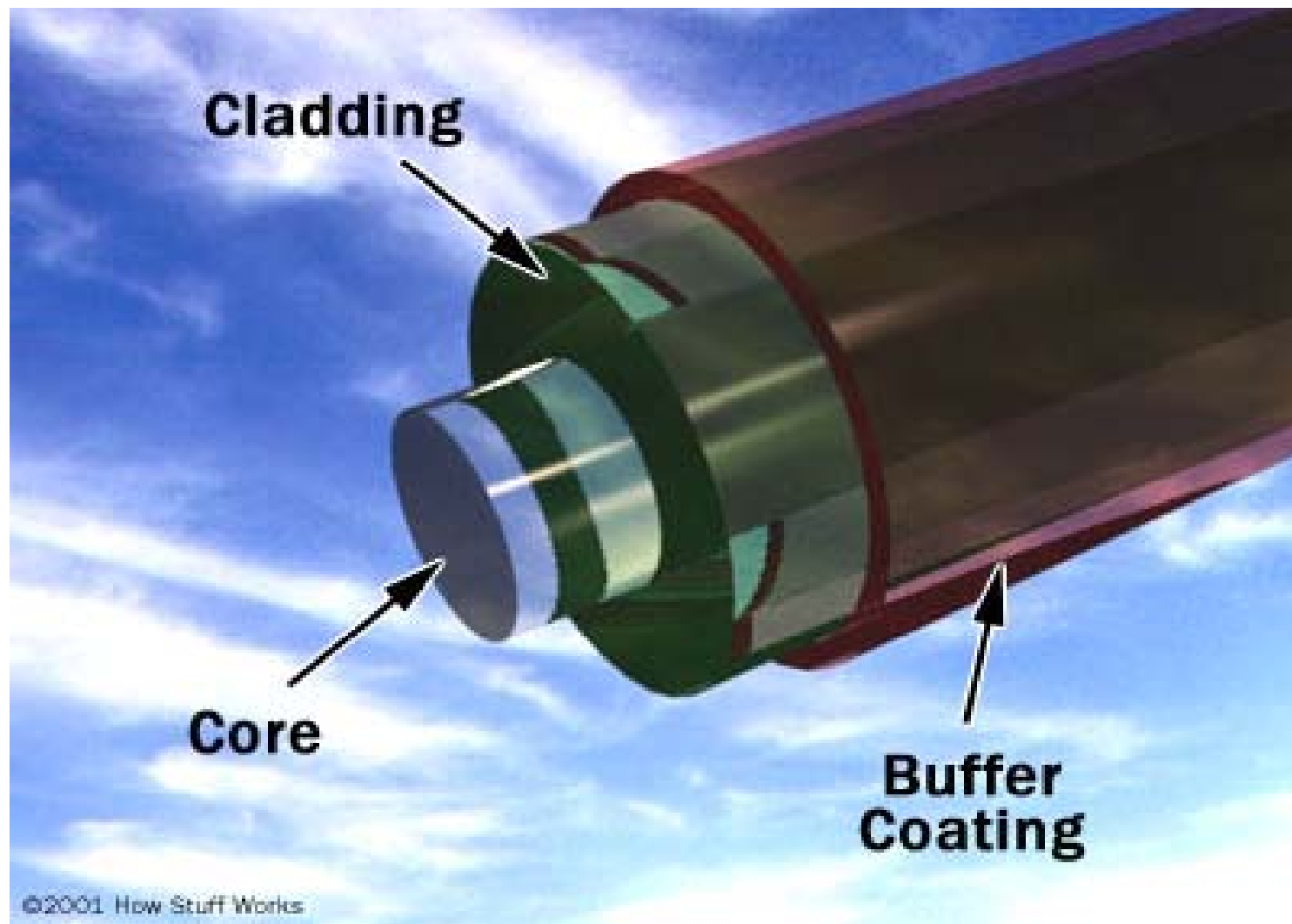


Fibra Ótica



(a) Três exemplos de um feixe de luz dentro de uma fibra de sílica colidindo com a fronteira ar/sílica em diferentes ângulos.

(b) A luz interceptada pela reflexão interna total.

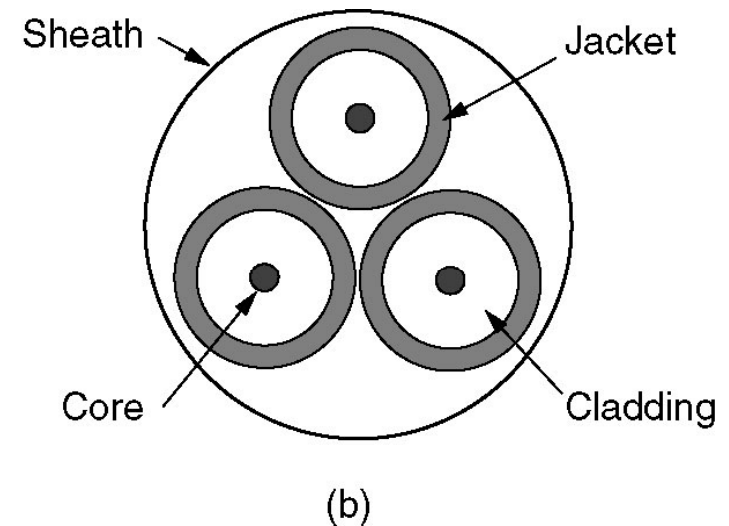
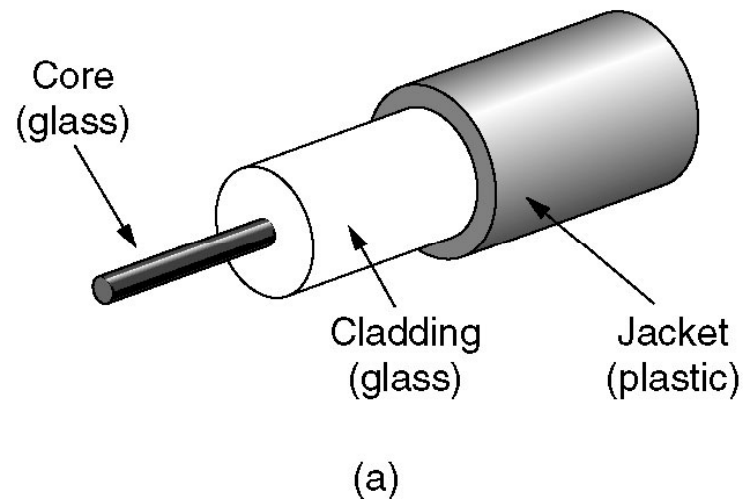


Glossário

- PMD – Dispersão de modo de polarização
- Core – núcleo
- Cladding – revestimento
- Coating – Capa
- Índice de refração
- Janelas espectrais de uso

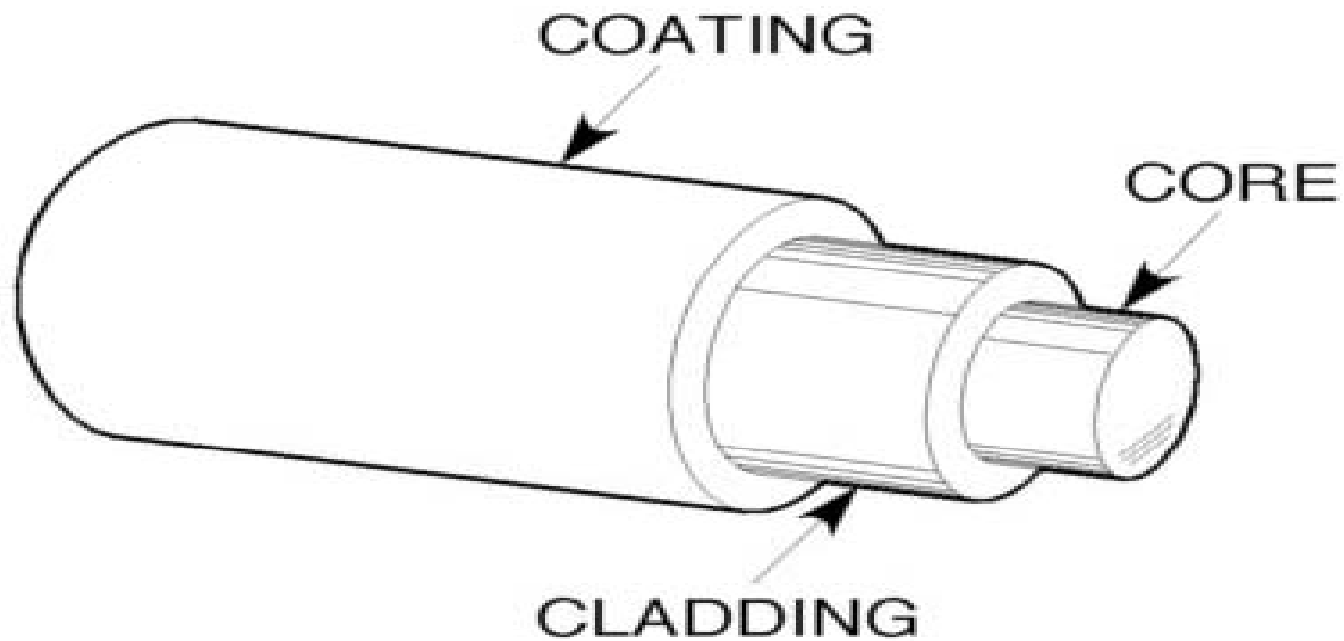
Cabos de Fibra

(a) Perspectiva lateral de uma fibra.



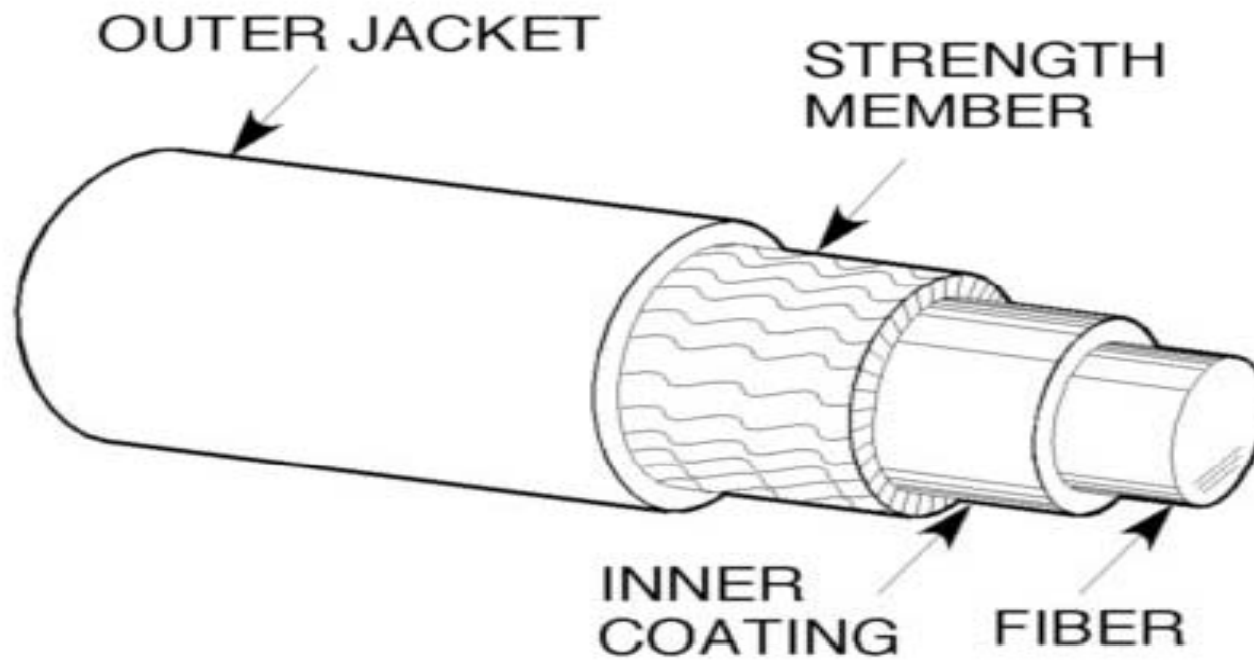
Estrutura física

OPTICAL FIBER



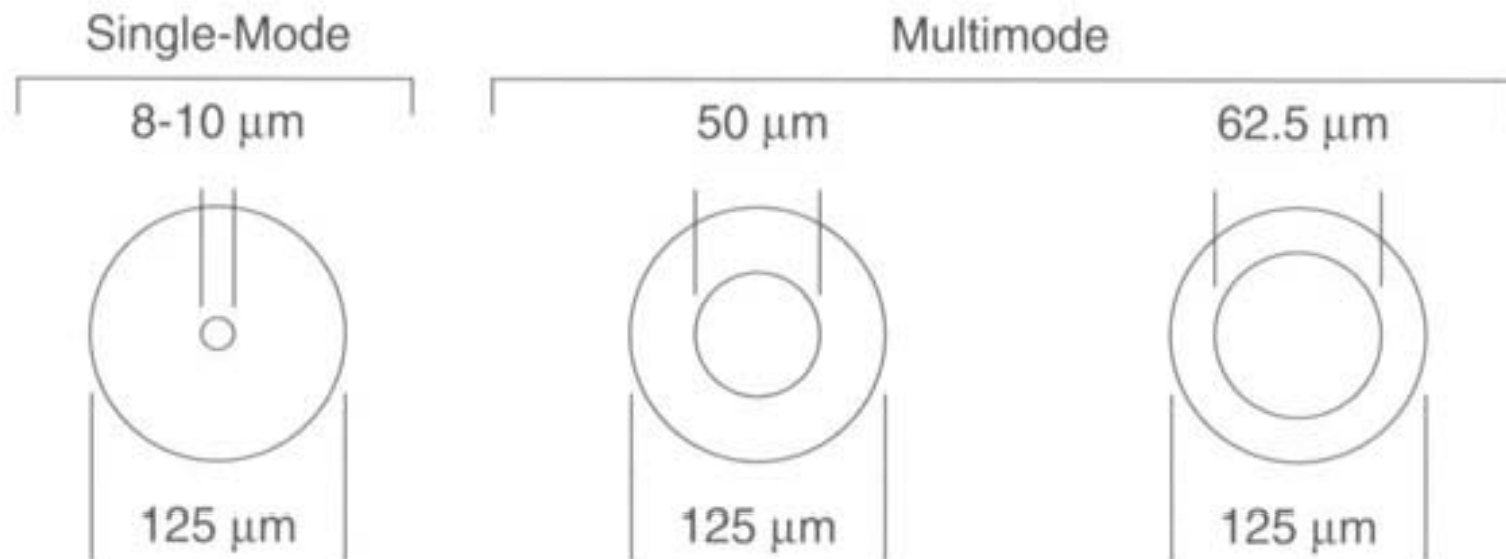
Estrutura física

SINGLE FIBER CABLE



Monomodo X Multimodo

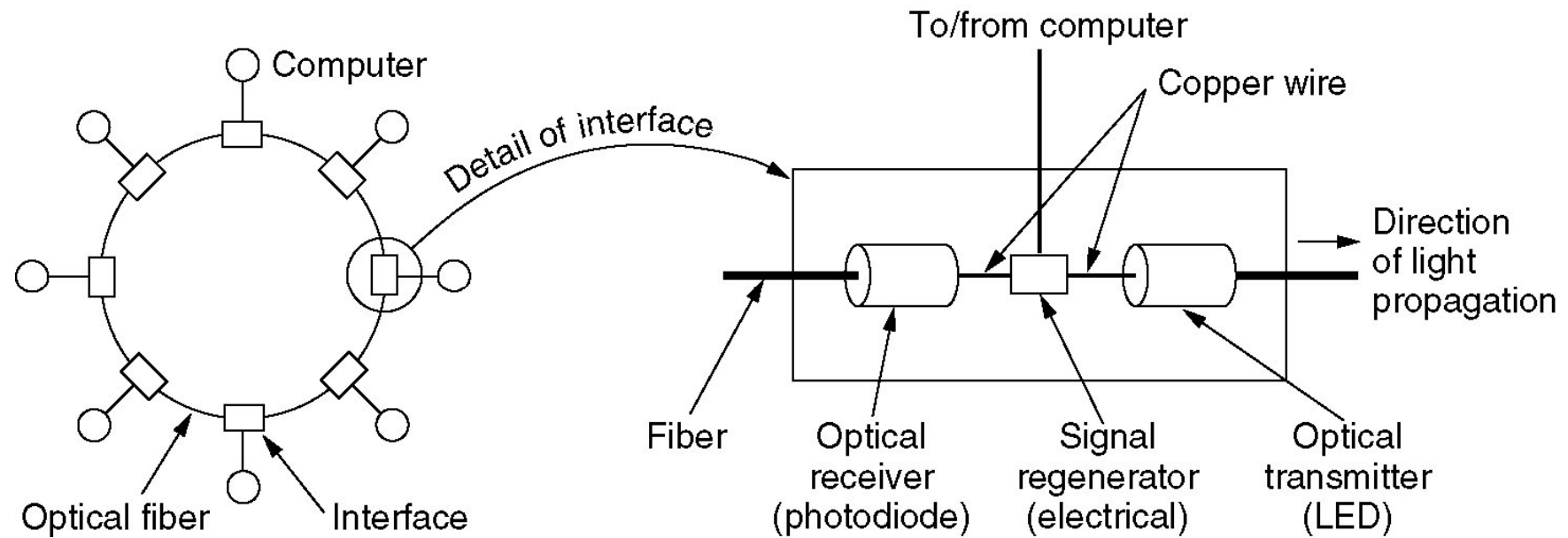
-



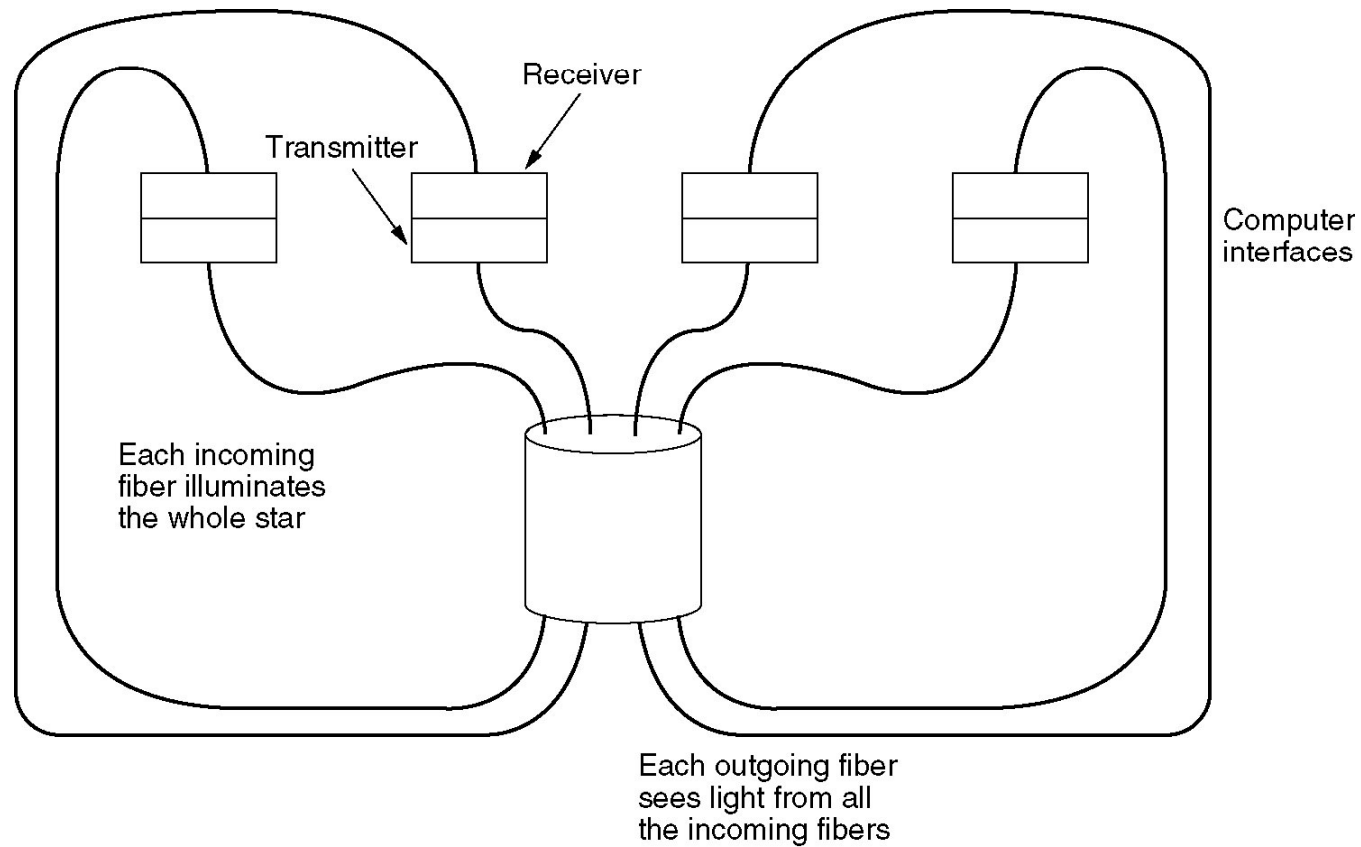
Uma comparação entre diodos semicondutores e emissores de luz utilizados como fontes de luz.

| Item | LED | Semiconductor laser |
|-------------------------|-----------|--------------------------|
| Data rate | Low | High |
| Fiber type | Multimode | Multimode or single mode |
| Distance | Short | Long |
| Lifetime | Long life | Short life |
| Temperature sensitivity | Minor | Substantial |
| Cost | Low cost | Expensive |

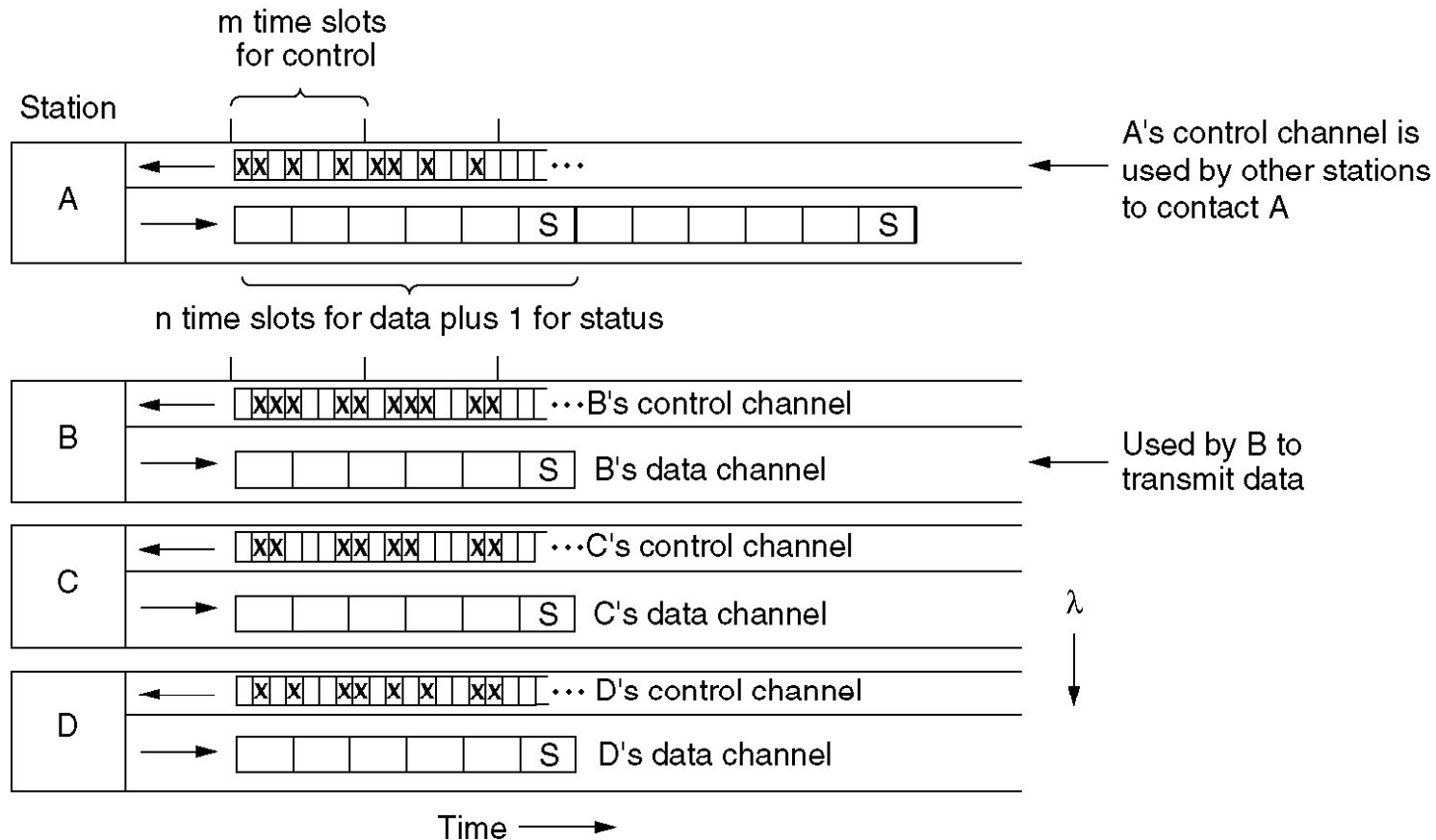
Um anel de fibra ótica com repetidores ativos.



Uma conexão em estrela passiva em uma rede de fibra ótica.



Protocolos WDMA (Seção 4.2.5- Tanenbaum)

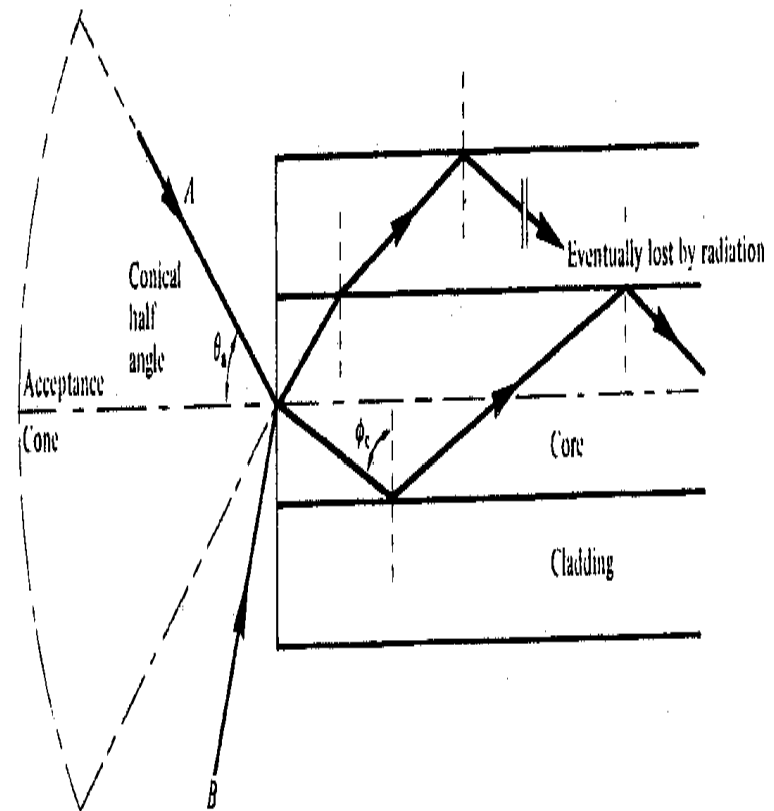


Cada estação tem 2 transmissores e 2 receptores

- Um receptor de frequencia fixa para ouvir seu canal de controle
- Um transmissor sintonizavel para enviar controles para outros canais
- Um transmissor fixo para transmitir seus dados
- Um receptor sintonizavel para selecionar o canal de um transmissor

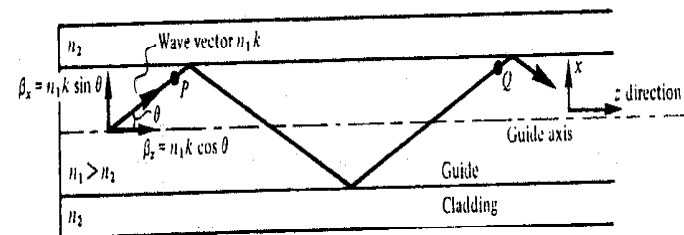
Princípios de propagação

- Núcleo (core) e Casca (cladding) com índices de refração próximos
- ângulo de aceitação cônico

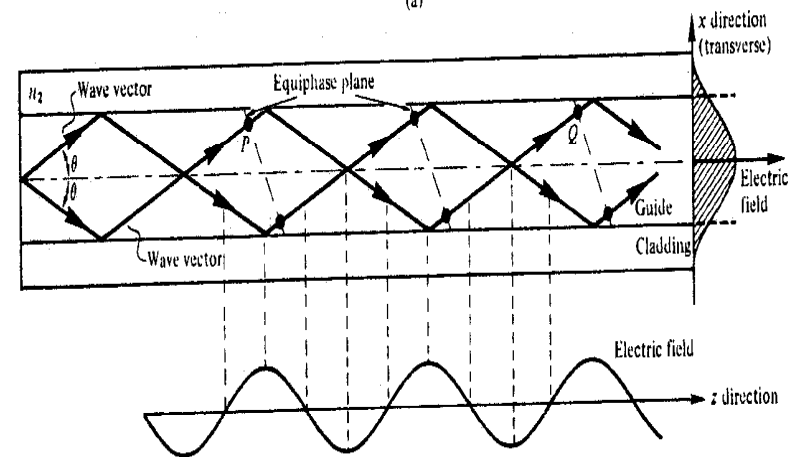


Propagação em fibra plana: ex.

- Energia confinada no núcleo:fibra=guia de onda
- Modo de propagação: um para cada θ



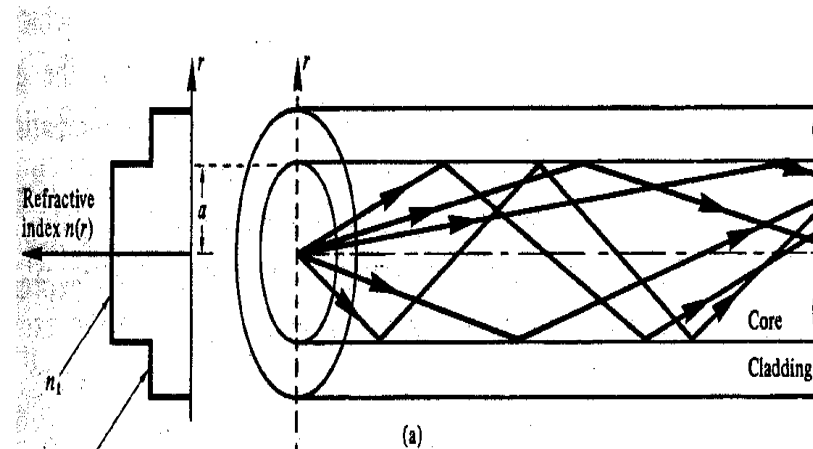
(a)



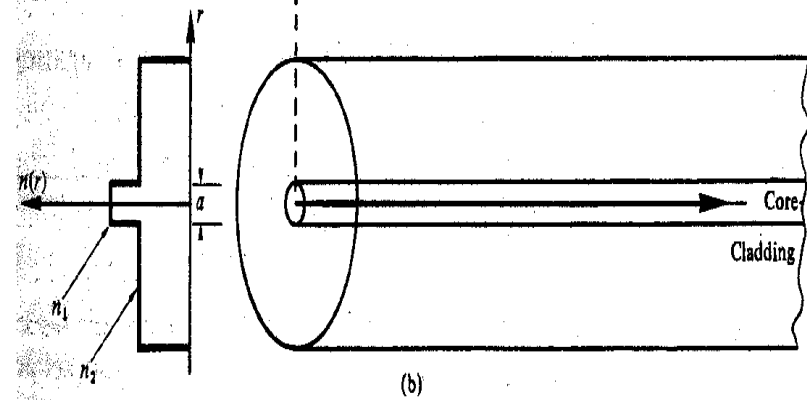
(b)

Multimodo x monomodo

- Fibra multimodo



- Fibra monomodo



Fatores limitantes em fibras

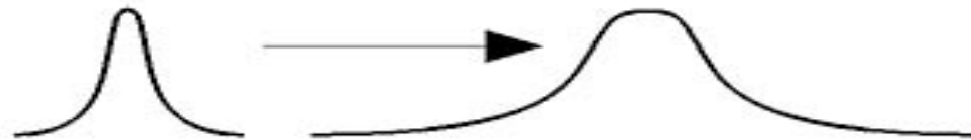
1. Dispersão
2. Perdas
 - atenuação
 - Espalhamentos

Também...

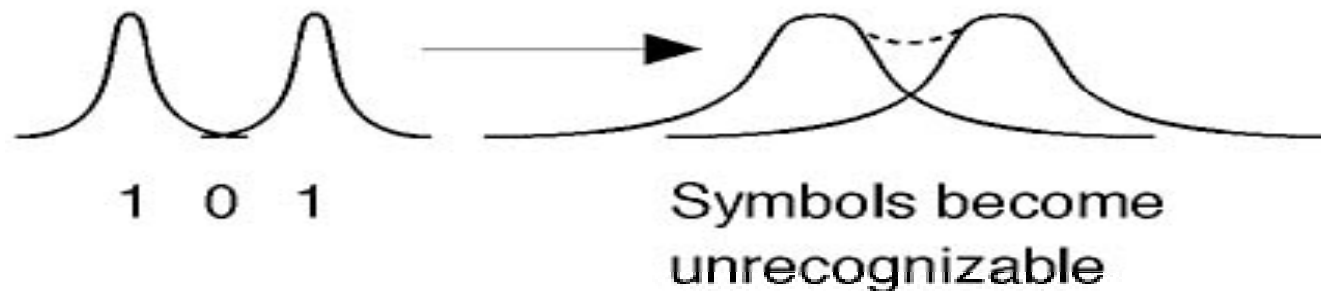
- Limite na **banda** de passagem disponível
- Limite no **comprimento máximo** de fibra

Dispersão - conceito

Dispersion



As a pulse travels down a fiber, dispersion causes pulse spreading. This limits the distance and the bit rate of data on an optical fiber.



Veja mais: <http://sol.sci.uop.edu/~jfalward/lightinterference/lightinterference.html>

Dispersão - classificação

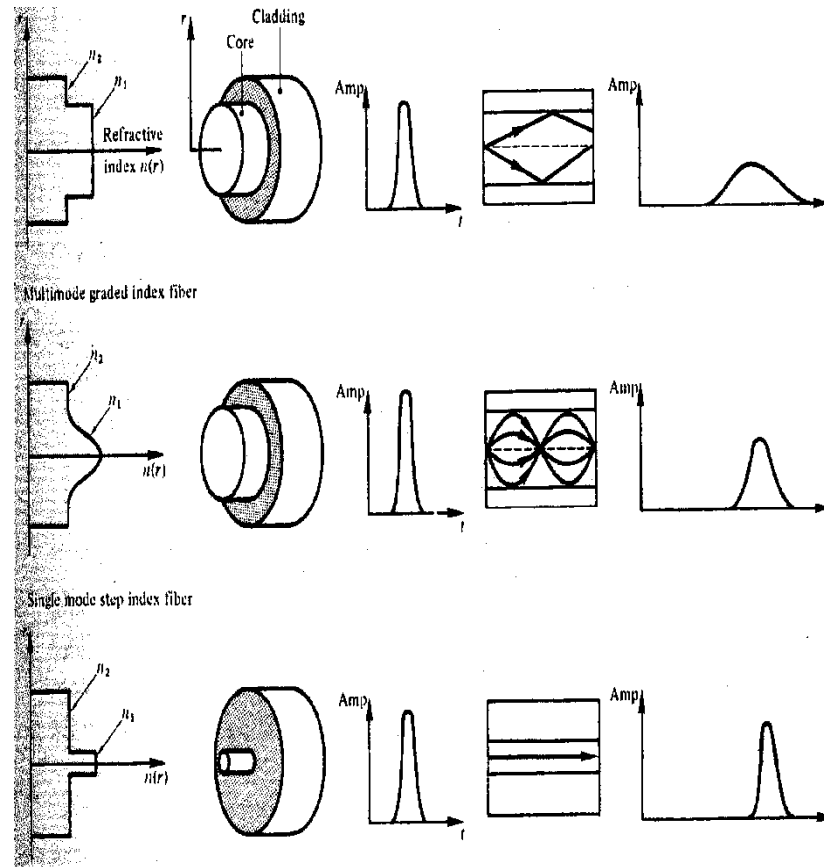
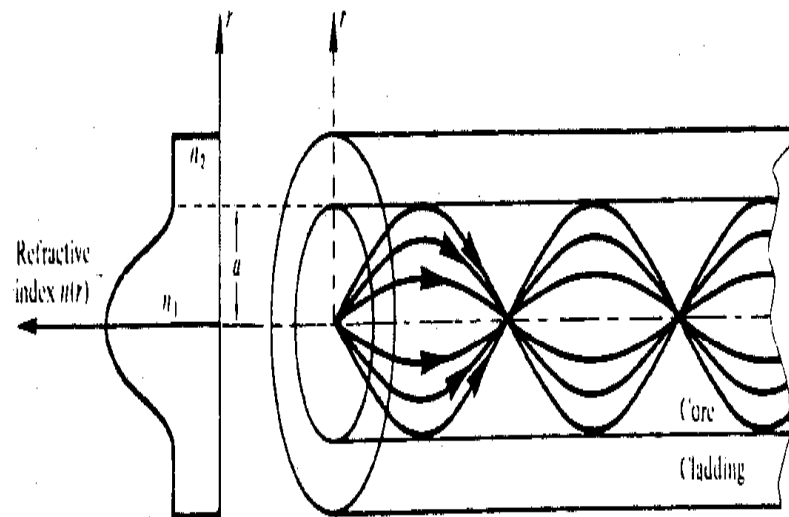
- Dispersão intermodal
 - predominante em fibras multimodo
 - nas monomodo pode aparecer dependendo:
 - da pureza do laser
 - Da ocorrência de não linearidades (ex: FWM)
- Dispersão intramodal
 - a mais importante em fibras monomodo

Dispersão intermodal

- Dispersão cromática
 - η varia com λ
 - interferência entre modos de propagação
- Dispersão de guia de onda
 - propagação pelo núcleo e casca

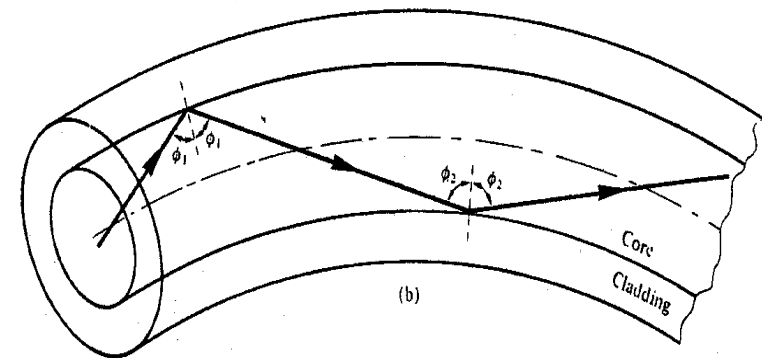
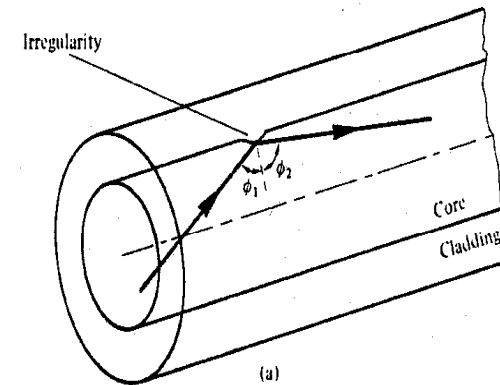
Correção de Dispersão Intermodal

- Perfil de índices de n com variação gradual



Dispersão Intramodal

- variação de η ao longo da fibra
 - defeitos
 - curvaturas
 - assimetrias
 - tensões residuais
 - η dependente da polarização da luz (PMD: polarization mode dispersion)



Dispersão Intramodal: PMD

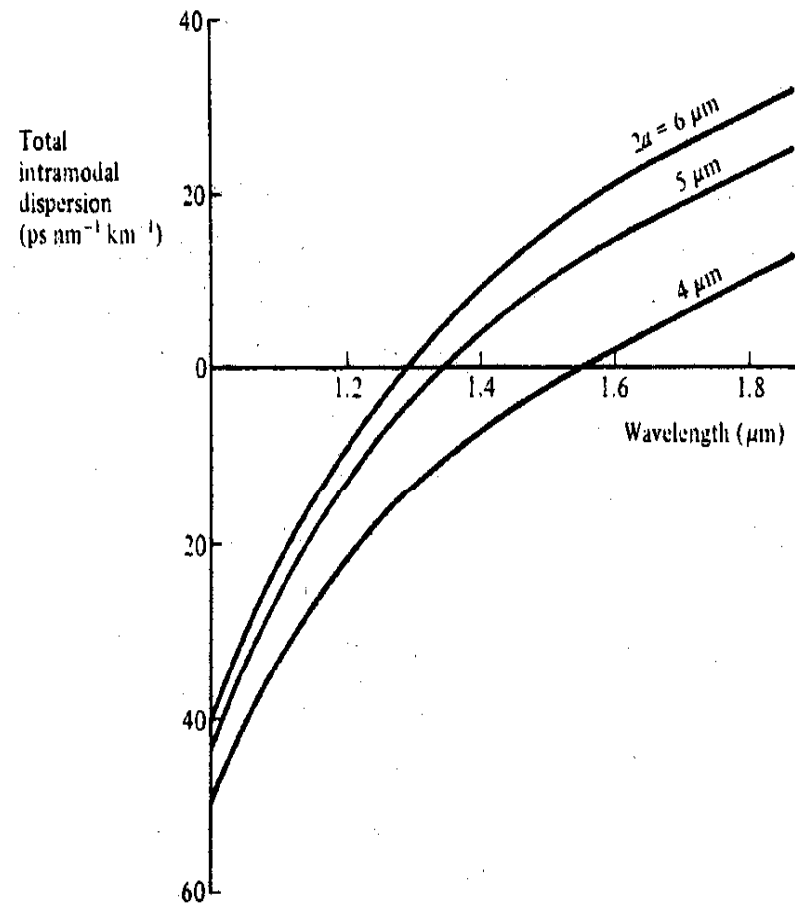
- **Velocidades diferente para cada polarização da onda**
 - A diferença de tempo de propagação entre os modos de polarização chama-se retardo de grupo diferencial (DRG) e mede a PMD
- **Causas**
 - Formato elíptico do núcleo
 - Assimetrias da fibra
 - tensões residuais: curvatura e torção
- **Varia com a temperatura e tempo**
- **Efeitos acima de 10 Gbps**
- **Incremento em 4x na taxa de transmissão → redução de 10x na distância**

PMD: exemplo

| Diferença de tempo | 2,5 Gbps | 10 Gbps | 40 Gbps |
|--------------------|-----------|----------|---------|
| ps/Km | | | |
| 0,0075 | 285000 km | 18000 km | 1100 Km |
| | | | |
| 0,5 | 6400 Km | 400 Km | 25 Km |
| | | | |
| 1 | 1600 Km | 100 Km | 6 km |
| | | | |
| 5 | 64 km | 4 Km | |

Dispersão Intramodal

- Posição da curva que depende de:
 - diâmetro do núcleo (área efetiva)
 - composição da fibra
 - dopagem da fibra



Fabricação - vídeo

- Preforma
 - deposição de vapor de compostos voláteis de (SiCl_4 , GeCl_4 , SiF_4) + dopantes
 - cozimento
- Puxamento
- Bobinamento

Entendendo valores de dB

A escala decibel (dB) é logarítmica, usada para denotar a taxa de um valor de potência para outro, por exemplo:

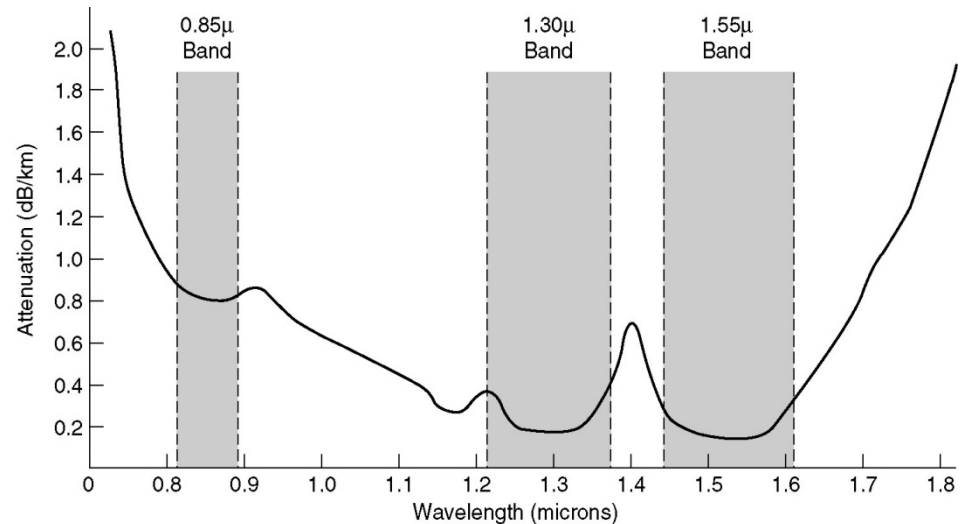
$$\text{dB} = 10 \log_{10} (\text{Power A/Power B})$$

Um aumento de 3 dB indica um dobro de potência. Um aumento de 6 dB indica uma quadruplicação na potência. Alguns exemplos são mostrados na Tabela 1.

| Ganho | Número de vezes | Perda | Número de vezes |
|-------|-----------------|--------|-----------------|
| 0 dB | 1x (o mesmo) | 0 dB | 1x (o mesmo) |
| 1 dB | 1.25x | -1 dB | 0.8x |
| 3 dB | 2x | -3 dB | 0.5x |
| 6 dB | 4x | -6 dB | 0.25x |
| 10 dB | 10x | -10 dB | 0.10x |
| 12 dB | 16x | -12 dB | 0.06x |
| 20 dB | 100x | -20 dB | 0.01x |
| 30 dB | 1000x | -30 dB | 0.001x |
| 40 dB | 10.000x | -40 dB | 0.0001x |

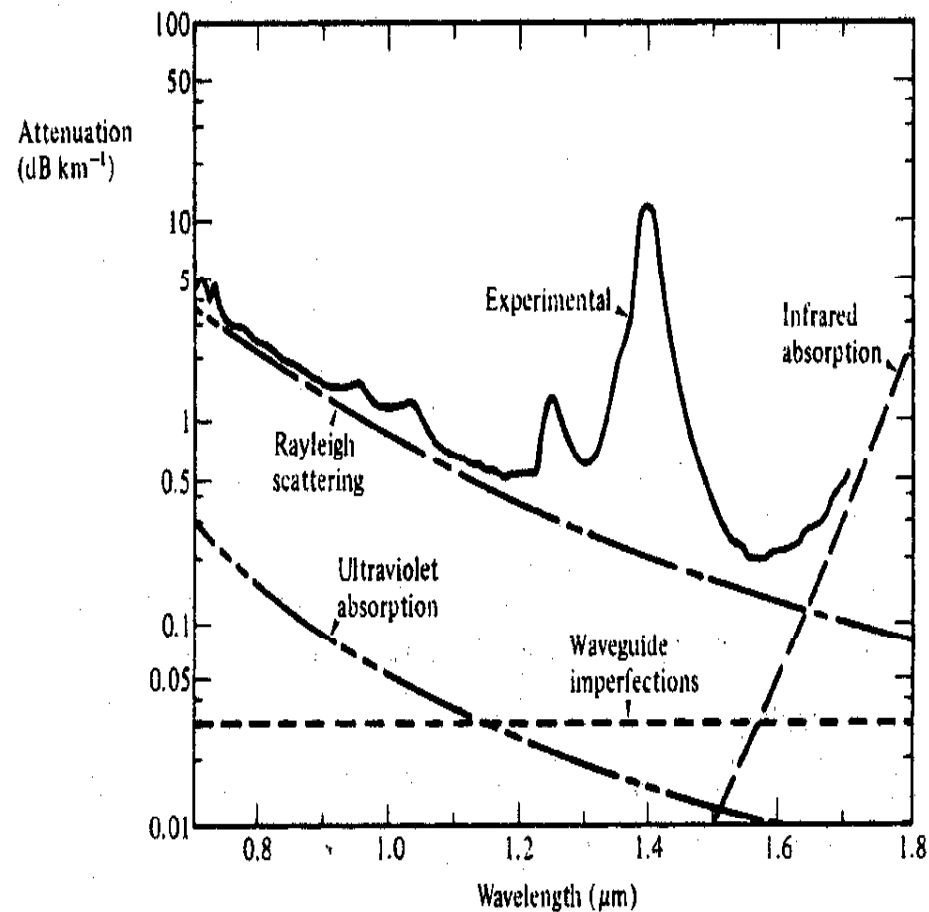
Perdas - atenuação

- Absorção
 - impurezas na fibra
 - água
- Janelas
 - 820-850 nm - MMF
 - 1285 - 1330 nm - MMF/SMF
 - 1525 - 1575 nm - SMF



Perdas - atenuação

- Absorção
 - absorção no infravermelho
 - absorção no ultravioleta



Perdas - espalhamento

- Espalhamentos: transferência da potência de um modo para outro (efeito transformador)
 - Lineares
 - Rayleigh
 - Mie

Perdas - espalhamento

– Não-lineares

- Brillouin estimulado
- Raman estimulado
- Modulação de fase cruzada
- Mistura de 4 ondas
- Sólitron
- Espalhamento inelástico
 - acima de um limiar, parte da potência do sinal é transferida em sinal contra-propagante
- Refração não linear
 - dielétrico (índice de refração) varia com a intensidade do campo elétrico

Perdas - resumo

- **Perda de retorno (reflexão)**
 - Conector ANSI/TIA/EIA menor que -20 db (usual -30 a -50 dB)
 - Emenda usual -50 a -60 dB
- **Perda de inserção (atenuação)**
 - Conector ANSI/TIA/EIA menor que 0,75 db (usual 0,5 dB)
 - Emenda usual 0,2 dB
- **Absorção (atenuação)**
- **Espalhamentos (difusão)**
- **Outros**
 - Fraturas (reflexão)
 - Desalinhamento (reflexão)
 - Excentricidade do núcleo (reflexão)
 - Curvatura (atenuação)

Padrões do ITU-T

- G650
 - Parâmetros para testes em fibras
- G651
 - Multimodo 50/125
- G652
 - Monomodo comum
- G653
 - Monomodo dispersão deslocada
- G654
 - Monomodo de corte deslocado
- G655
 - Monomodo de dispersão deslocada não nula

Parâmetros de medição

- Atenuação
 - Perda
 - Curvatura admissível
- Dispersão
 - Cromática
 - PMD
- Comprimento de onda de corte
- Não Linearidades
- Taxa de erro (BER= bit error rate)

Especificações típicas de fibra

- **Multimodo**

- atenuação 850 nm 2.7- 3.5 dB/km
- atenuação 1300 nm 0.6 - 1.5 dB/km
- diâmetros 50-62.5/125 μm

- **Monomodo padrão (G652)**

- atenuação 1310 nm 0.33-0.36 dB/km
- atenuação 1550 nm 0.19-0.22 dB/km
- dispersão zero 1300 a 1326 nm
- diâmetros 8.5/125 μm

Especificações típicas de fibra

- **Monomodo deslocado**

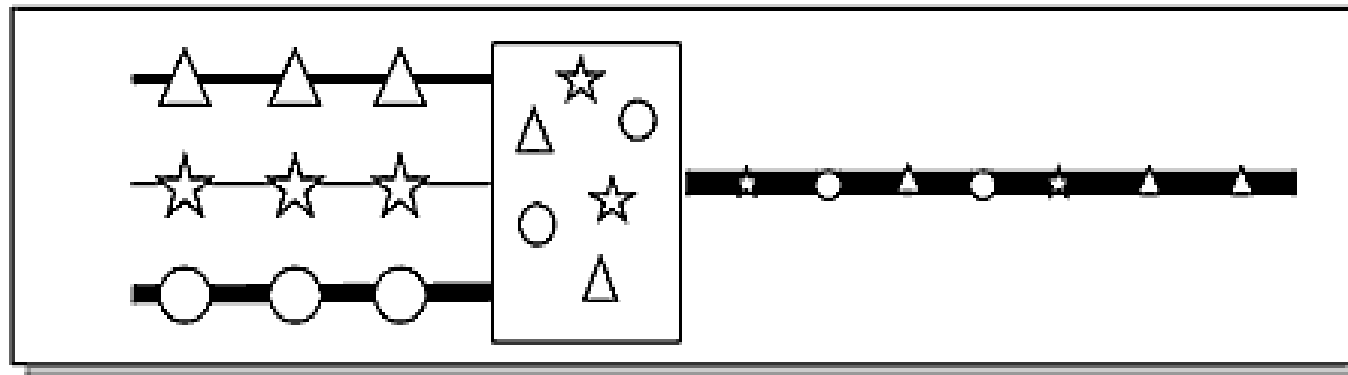
- | | |
|---------------------|-----------------------|
| • atenuação 1310 nm | 0.33-0.36 dB/km |
| • atenuação 1550 nm | 0.19-0.22 dB/km |
| • dispersão zero | 1535 a 1565 nm |
| • diâmetros | 8.5/125 μm |

Especificações ITU-T - Resumo

| Parâmetro | G652 | G653 | G654 |
|---------------------|----------------------------|----------------------------|-------------|
| onda (nm) | | | |
| | 1280 a 1335 1480 a 1580 | 1280 a 1335 1480 a 1580 | 1480 a 1580 |
| Atenuação | | | |
| (dB/Km) | 0,3 a 0,4 | 0,3 a 0,4 | |
| | 0,15 a 0,25 | 0,15 a 0,25 | 0,15 a 0,20 |
| Dispersão cromática | | | |
| | $1,2 < m < 6,2$ | - | - |
| | $m < 21$ | $2,5 < m < 5,5$ | $m < 20$ |

Otimização no uso da fibra

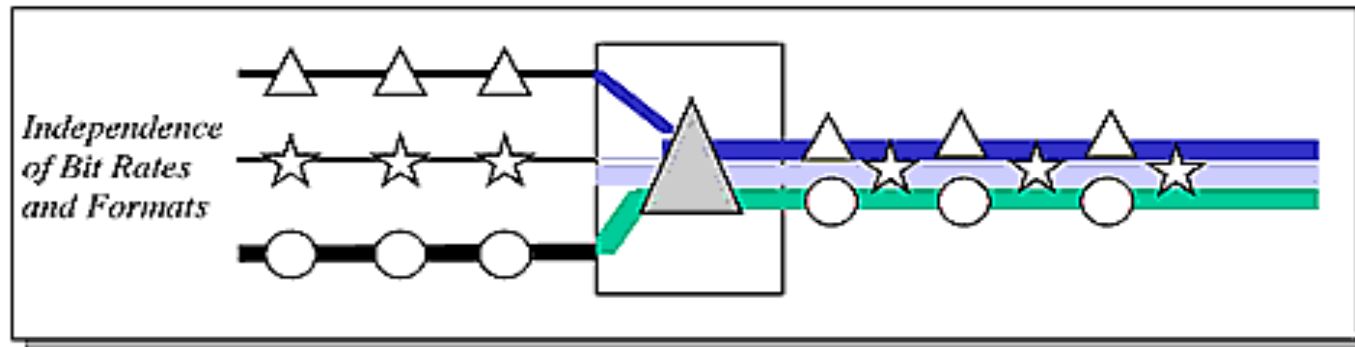
- Multiplexação no tempo (TDM)



- Combines traffic from multiple inputs onto one common high capacity output
- Allows high flexibility in managing traffic; fixed bandwidth
- Requires electrical mux/demux function

Otimização do uso da fibra

- Multiplexação no espaço (WDM)



- Merges *optical* traffic onto one common fiber
- Allows high flexibility in expanding bandwidth
- Reduces costly mux/demux function, reuses *existing* optical signals.
- Individual channels use original OAM&P

DWDM = Dense WDM

DWDM = Dense Wave Division Mux

- λ separados em 0.8 nm (ITU-T) -> 32, 80 ou + canais
- 1440 a 1620 nm
- sem conversão eletro-óptica (amplificadores EDFA)

DWDM - dificuldades

- **penalidade: diafonia (crosstalk)**
 - **diafonia linear**
 - filtros precisos
 - demultiplexadores precisos
 - controle sobre a largura espectral das fontes (lasers)
 - **diafonia não-linear**

DWDM

- DWDM
 - 864 fibras / cabo
 - 128 λ / fibra
 - OC-48 / λ

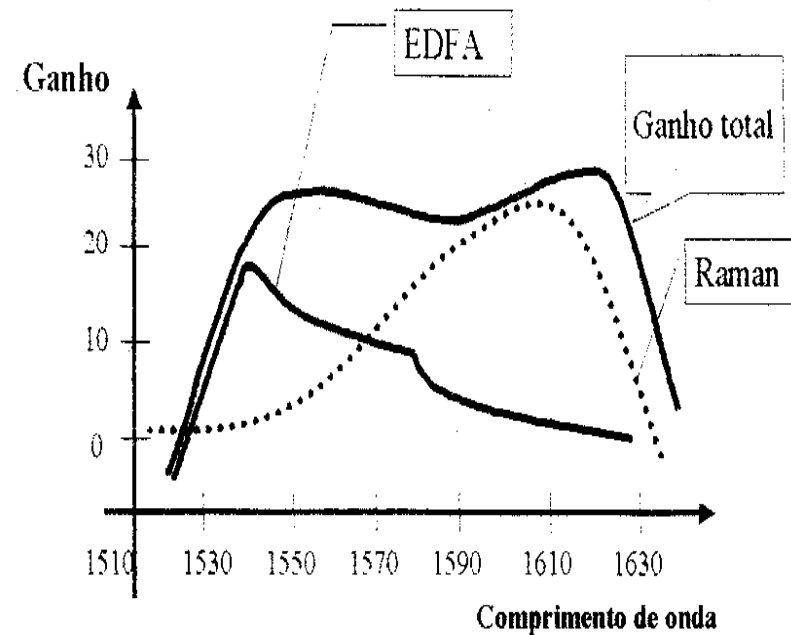
Amplificadores ópticos

- **Vantagens da amplificação ótica**
 - **transparência ao formato**
 - **multi-comprimento de onda**
 - **bidirecional**
 - **baixo consumo**

Amplificadores ópticos

- **Tipos**
 - Semicondutor
 - Raman
 - Fibra dopada com Pr ou Nd (1300 nm)
 - Fibra dopada com Er (1550 nm) - EDFA
- **Regeneração em 3 etapas (3R)**
 - potência (Re-amplified)
 - sincronismo (Re-timed)
 - forma pulso (Re-shaped)

Amplificadores Ópticos de Faixa Larga



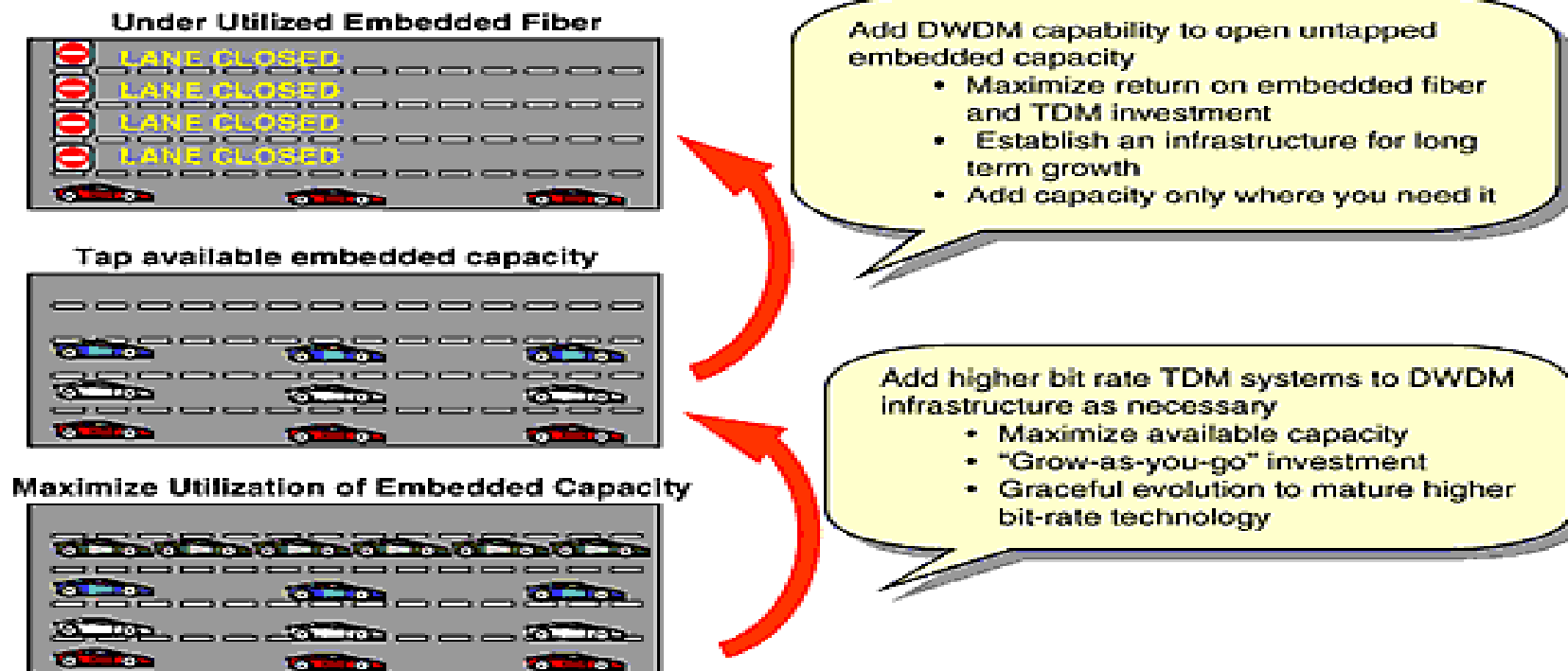
Receptores ópticos

- ruído dominante é o ruído térmico
- APD (Avalanche Photo-Diode) x PIN (Photo-Diode Intrinsic Junction)
 - APD: melhor sensibilidade (até 6 dB)
 - PIN: maior banda-passante
 - sensibilidade melhor a custa de amplificador ótico

Redes óticas: atualidade e Tendências

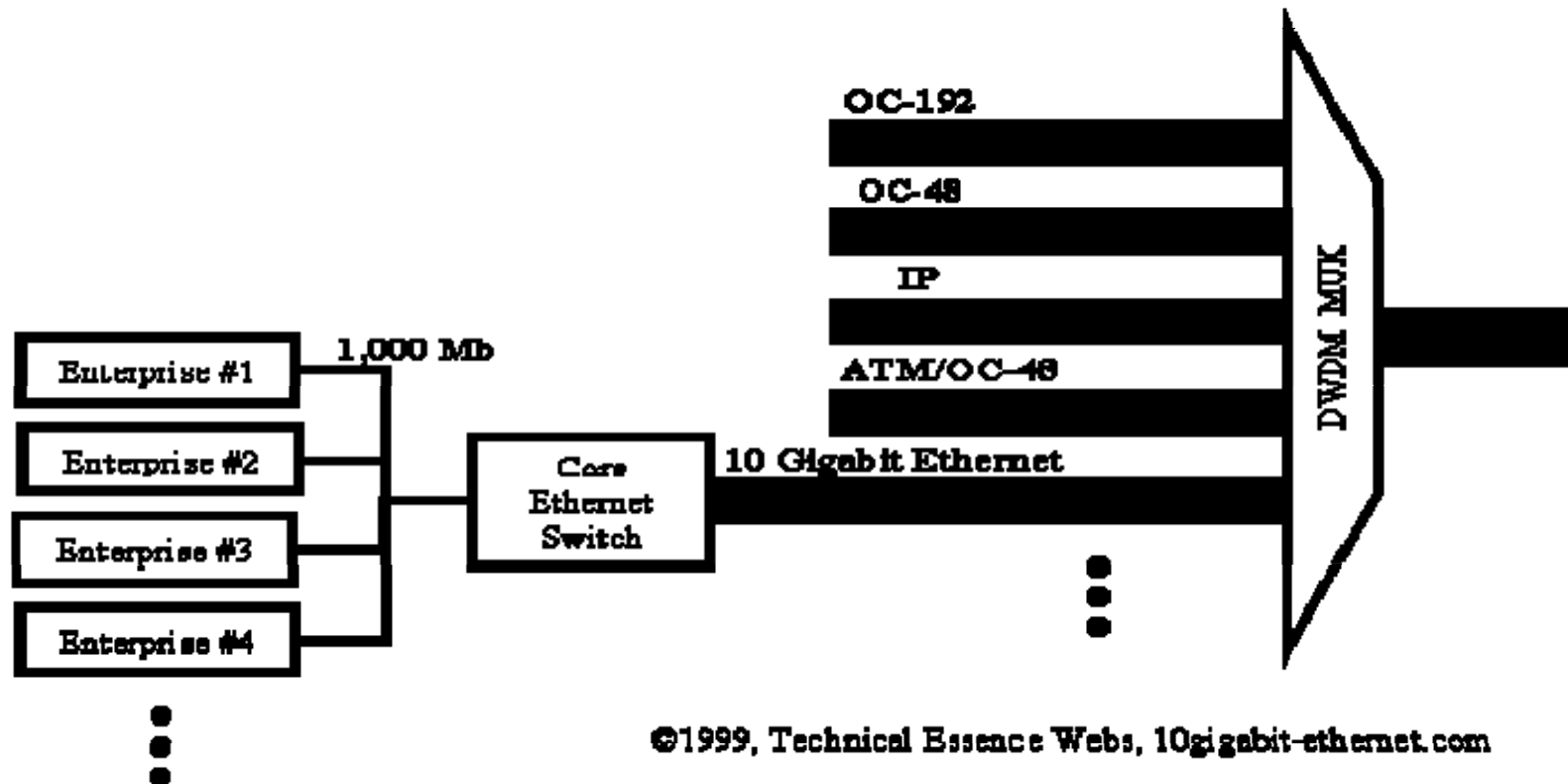
Otimizar uso da fibra ao máximo

- TDM + WDM



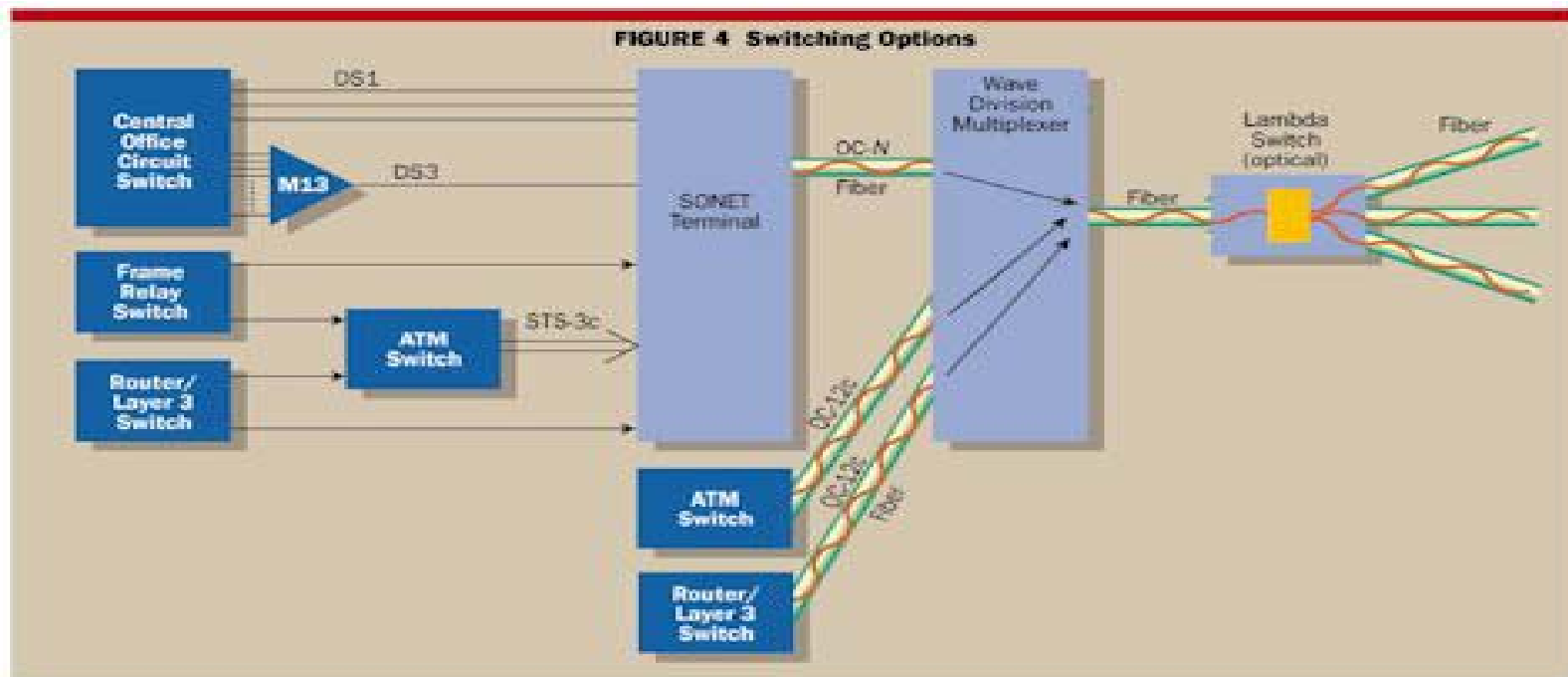
Ex: WDM e 10GbE

Possible 10 Gigabit Ethernet over DWDM



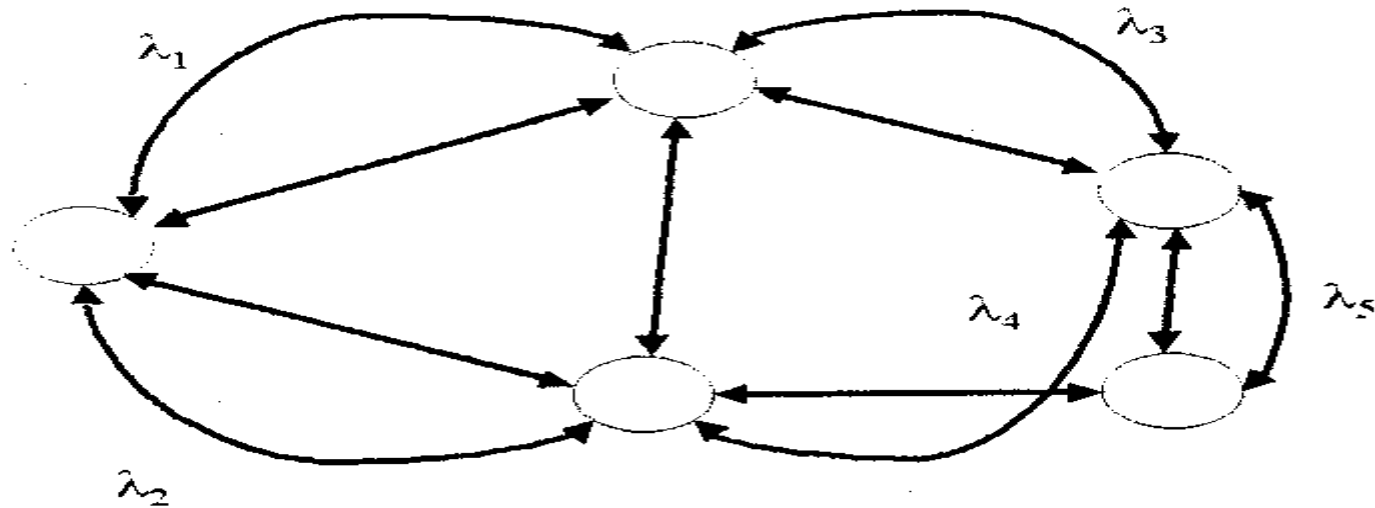
Sem intermediários

- Comutação óptica



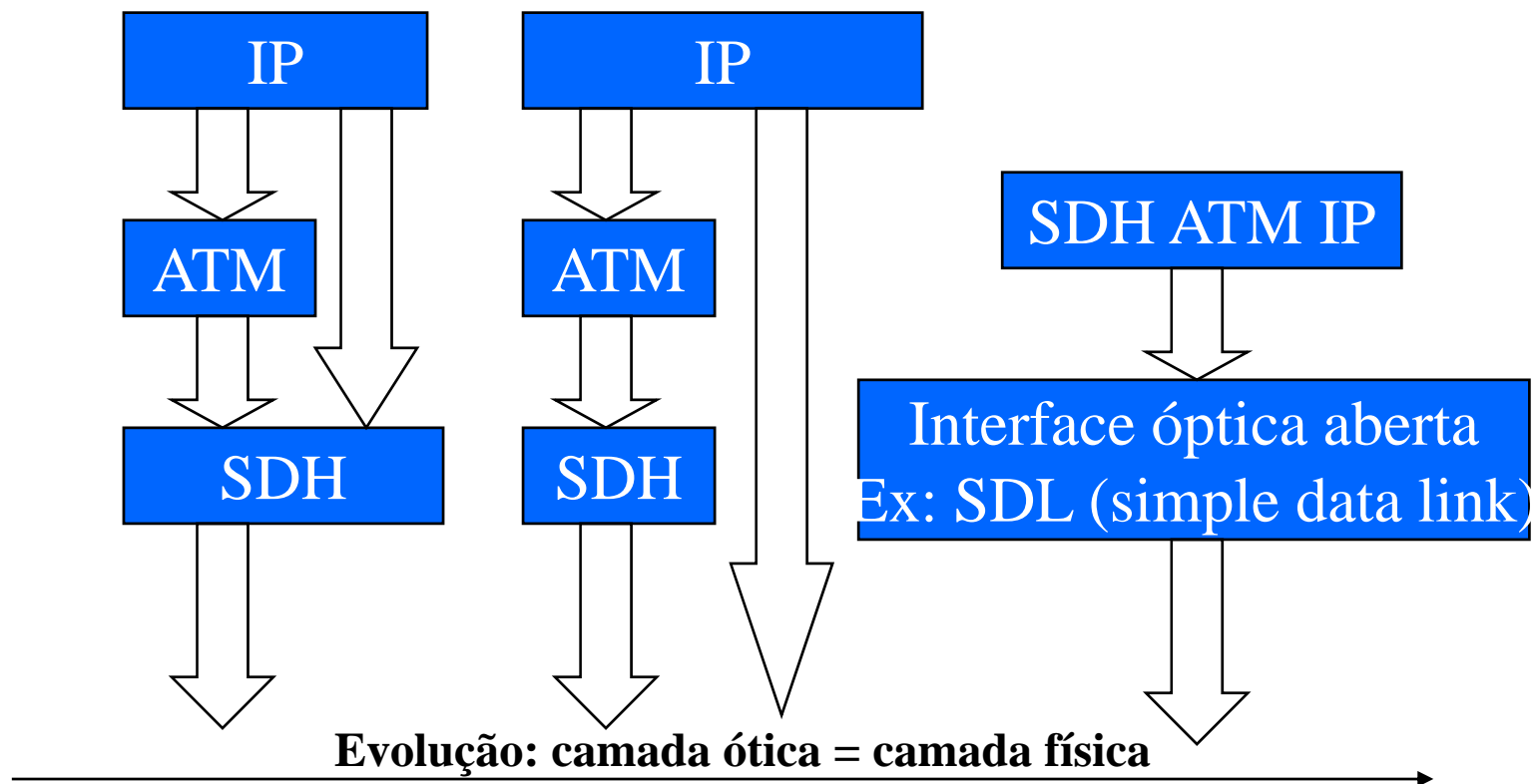
Roteamento ótico

Redes de roteamento de λ



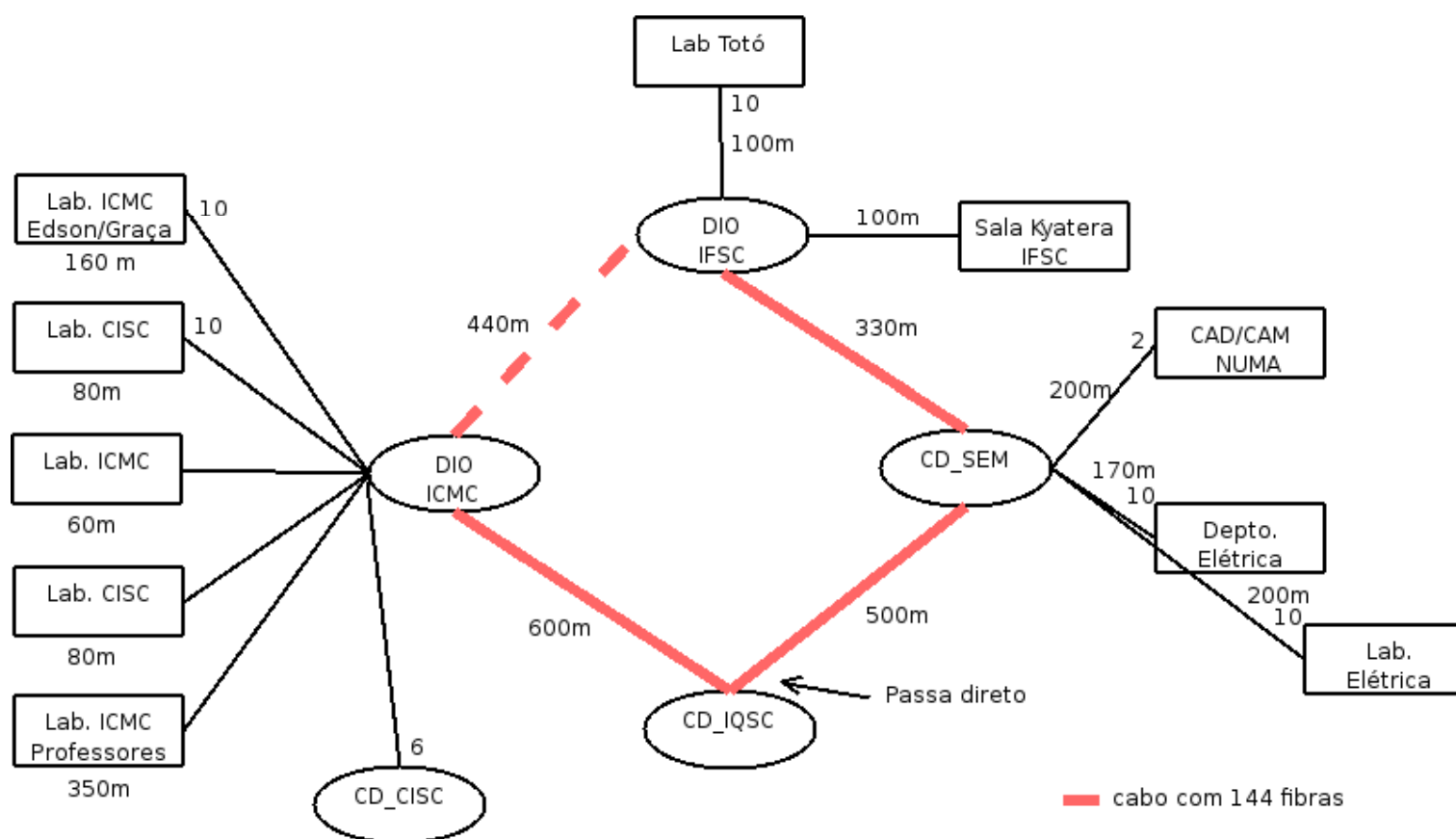
Redes ópticas

- **Evolução**



Kyatera

- <http://lways1.ifsc.usp.br/kyatera/anel.html>



StarLight

Giga

Taquara

FTTH & PON

- **FTTH (fiber to the home)** is a form of fiber optic communication delivery in which the optical signal reaches the end user's living or office space.[\[1\]](#)
- A **passive optical network (PON)** is a [point-to-multipoint](#), [fiber to the premises](#) network architecture in which unpowered [optical splitters](#) are used to enable a single [optical fiber](#) to serve multiple premises