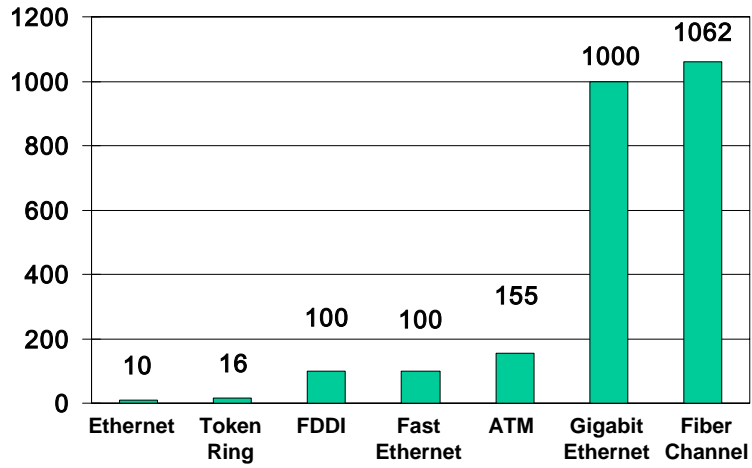
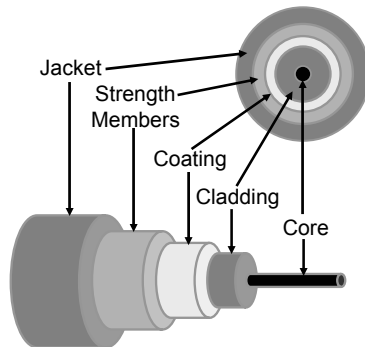


## Redes de Elevado Desempenho e Tecnologias



## Fibra Óptica



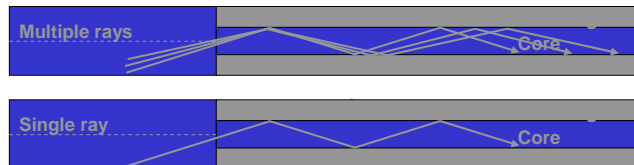
## Multimode vs. Single Mode

### ● Multi mode

- Cablagem
  - 62.5/125 microns
- Raios Múltiplos (ângulos)
  - Alta dispersão modal
- Distância
  - 2Km

### ● Single mode:

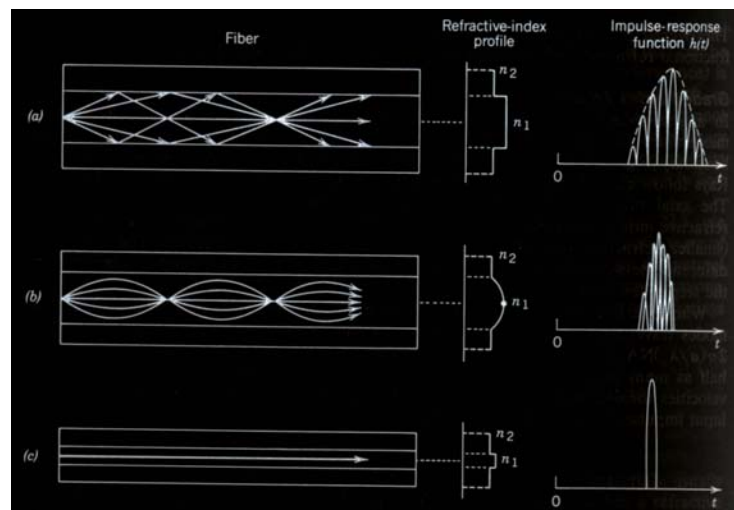
- Cablagem
  - 8.3/125 microns
- Raio simples
  - Menor dispersão modal
- Distâncias superiores
  - 10Km~60Km & mais



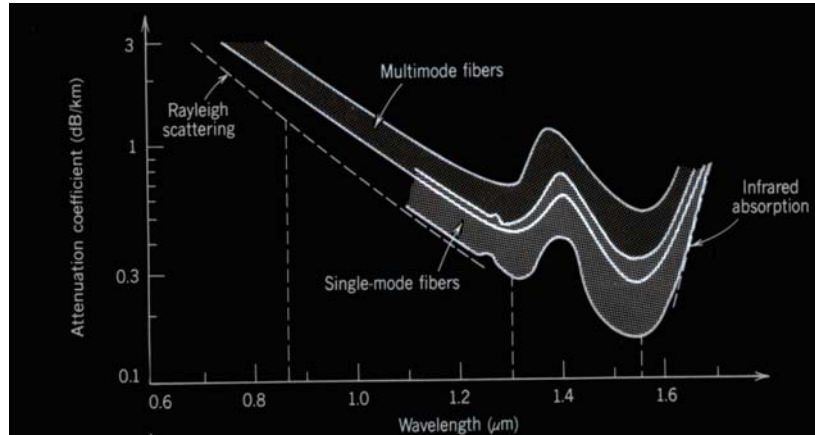
## Dispersão em Fibras Ópticas:

(a) e (b) – Multimodo

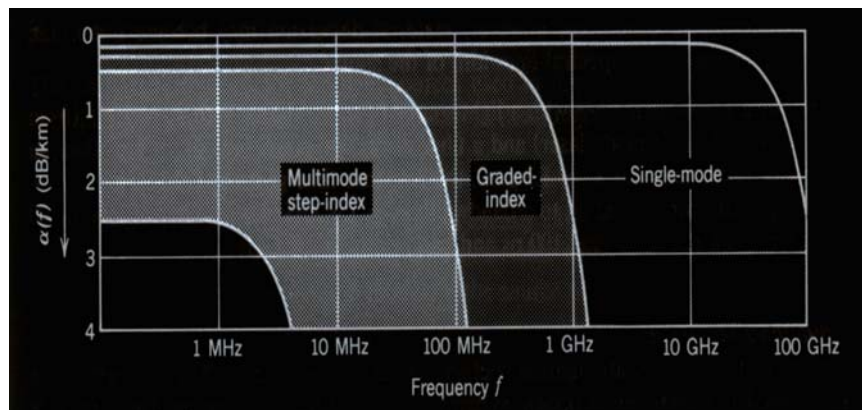
(c) - Monomodo



## Atenuação por Comprimento de Onda ( $\lambda$ )



## Atenuação por frequência



## WDM e DWDM

---

- WDM: Wavelength Division Multiplexing
- DWDM: Dense WDM
- 1 único cabo em vez de 2 ou 4/8/16 ou mais!



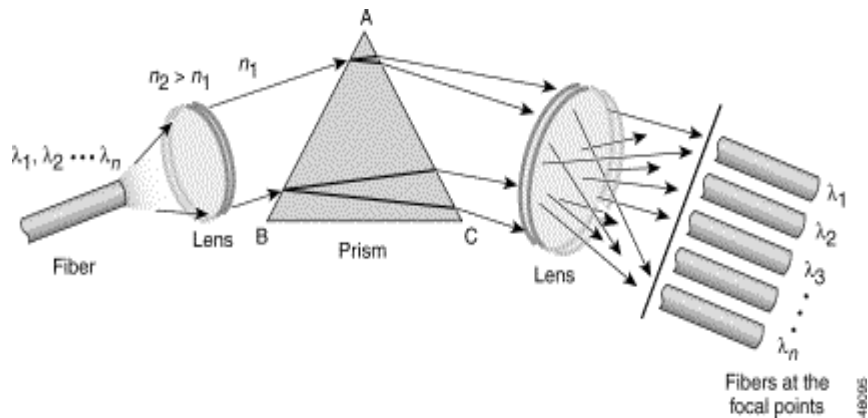
## WDM e IP: Motivação

---

- **Crescimento exponencial de tráfego IP**
- **Aparecimento de Routers com interfaces STM 16, STM 64, Giga e Tera bit**
- **Diferentes cenários para redes de transporte de IP em infraestruturas IP, ATM, SDH e WDM Inter Networking**
- **Necessidade de simplificar soluções para IP sobre WDM**

## Mux/DeMux de Comprimentos de Onda

---



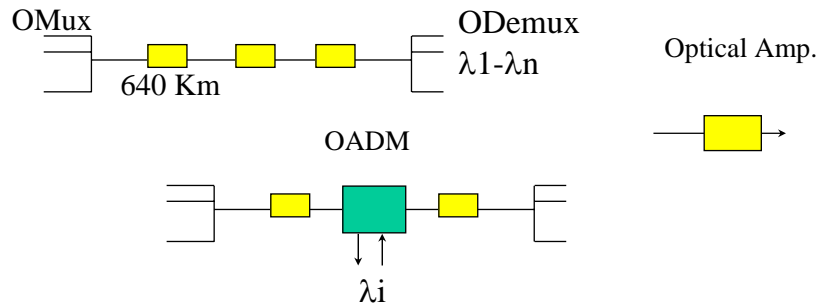
## História

---

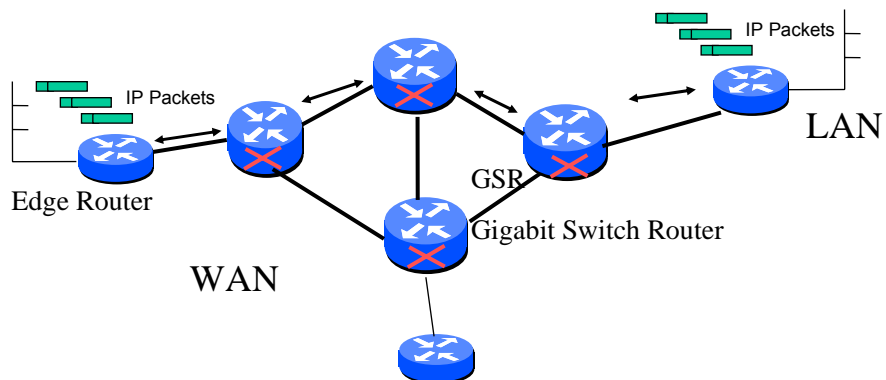
- **Fim anos 70**
  - Sistemas de Transmissão Óptica baseados em Fibra
- **Até 1995**
  - Basicamente um único canal óptico (high-speed)
  - Multiplexagem electrónica (TDM)
  - Serviços de dados de 50Mb/s a 10Gb/s
- **Depois de 1996**
  - WDM permite transmissão simultânea de múltiplos canais high-speed usando diferentes frequências (~ 160 wavelengths)
  - 40G por  $\lambda$  (OC768)
  - Capacidade Total do Link =  $160 \lambda * 40G = 6.4 \text{ Tbps}$

## OTNs: Optical Transport Networks

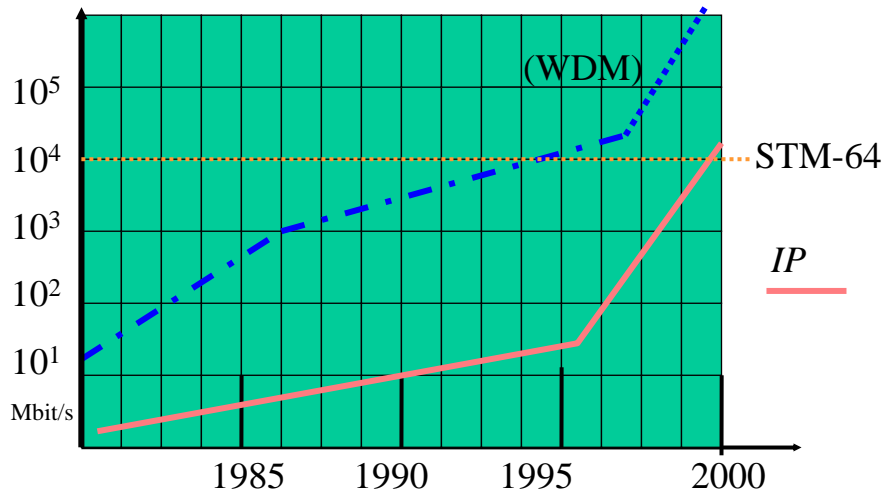
- **1995-1998: Ponto-a-ponto WDM (G.692)**  
**4, 8, 16, 32 et 64?  $\lambda$  a 2.5 e 10 Gbit/s**



## IP backbone

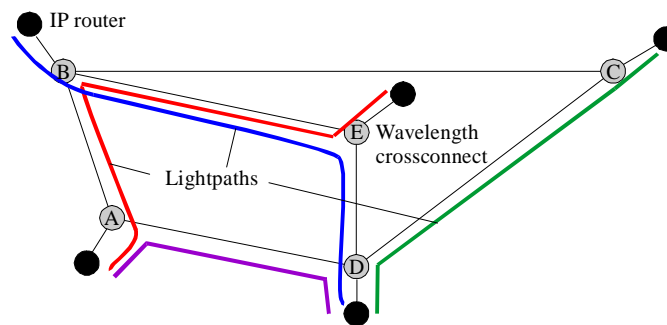


## IP sobre WDM, porquê ? Evolução da Capacidade de transporte IP e Óptica

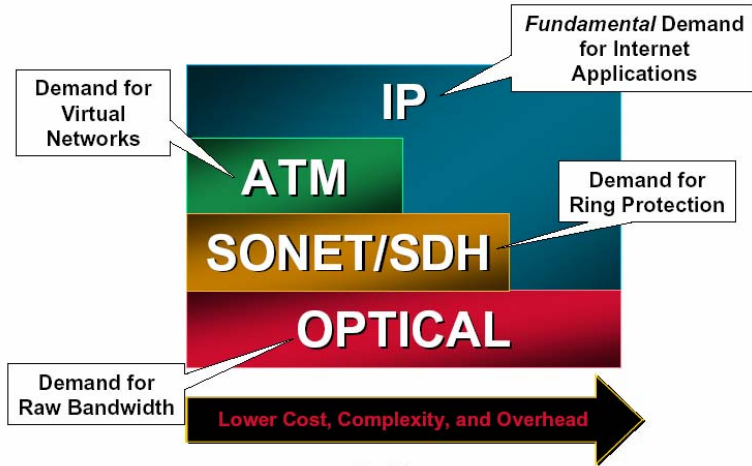


## IP Directament sobre WDM?

- Estabelecer ligações ópticas (high-speed lightpaths)
- Routers IP interligados através de comprimentos-de-onda (lightpaths) e não directamente por fibra



## IP e outras tecnologias



## Overheads: Comparação percentual

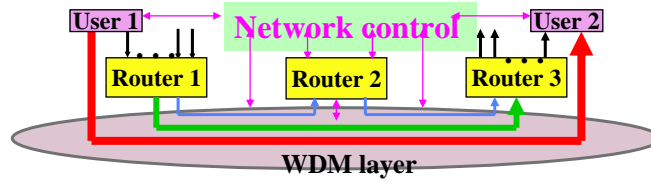
Encapsulation/ Framing	Overhead	Link capacity Mb/s
IP/ATM/SDH	28%	1944
IP/PPP/SDH	6%	2335
IP/GbE	11%	902

Link STM-16 (16xSTM-1 = 16\*155Mbps = 2.4 Gbps) para os 3 primeiros métodos e GbE (line rate de 1.25Gb/s) para o último.



## Multi-layer Routing

- **Routing IP é um gargalo (tempo!) na Internet actual**
- **Solução: Encaminhar fluxos de longa duração nos layers inferiores**



- Conventional packet routing
- Optical bypass of intermediate routers for high volume traffic
- End-to end (user-to-user) flow of entire file bypassing routers

## Comutar todos os pacotes no layer óptico?

- **Necessita inteligência no nível óptico**
- **Necessita de armazenar pacote durante o processamento do cabeçalho**
- **Buffers ópticos são muito difíceis de implementar**
  - 1 pkt = 12 kbits @ 10 Gbps necessita de
    - 1.2  $\mu$ s de atraso => 360 m de fibra!
- **Ainda um longo caminho.....**

## Futuro: integração IP sobre WDM

