

IFSC - São José

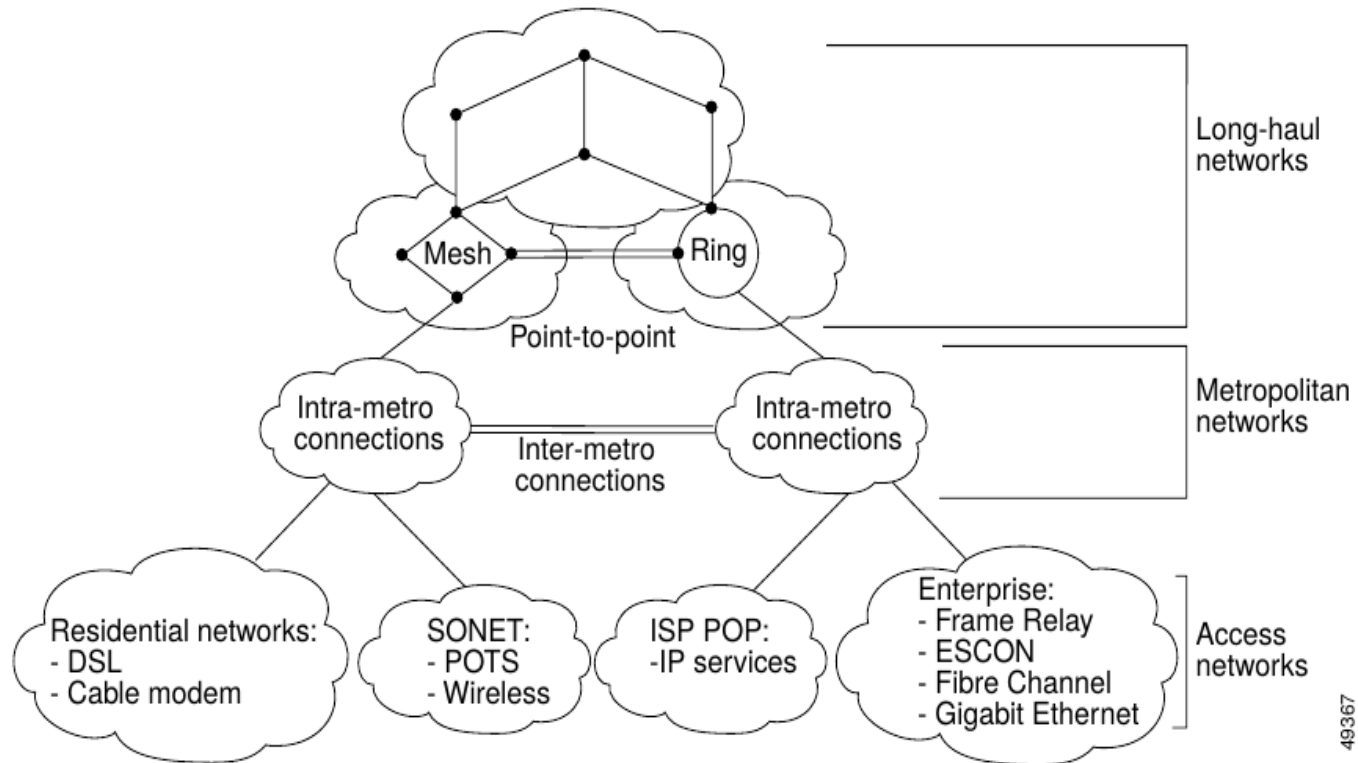
Engenharia de Telecomunicações

Redes de Transmissão
Fábio Alexandre de Souza
Professor

WDM

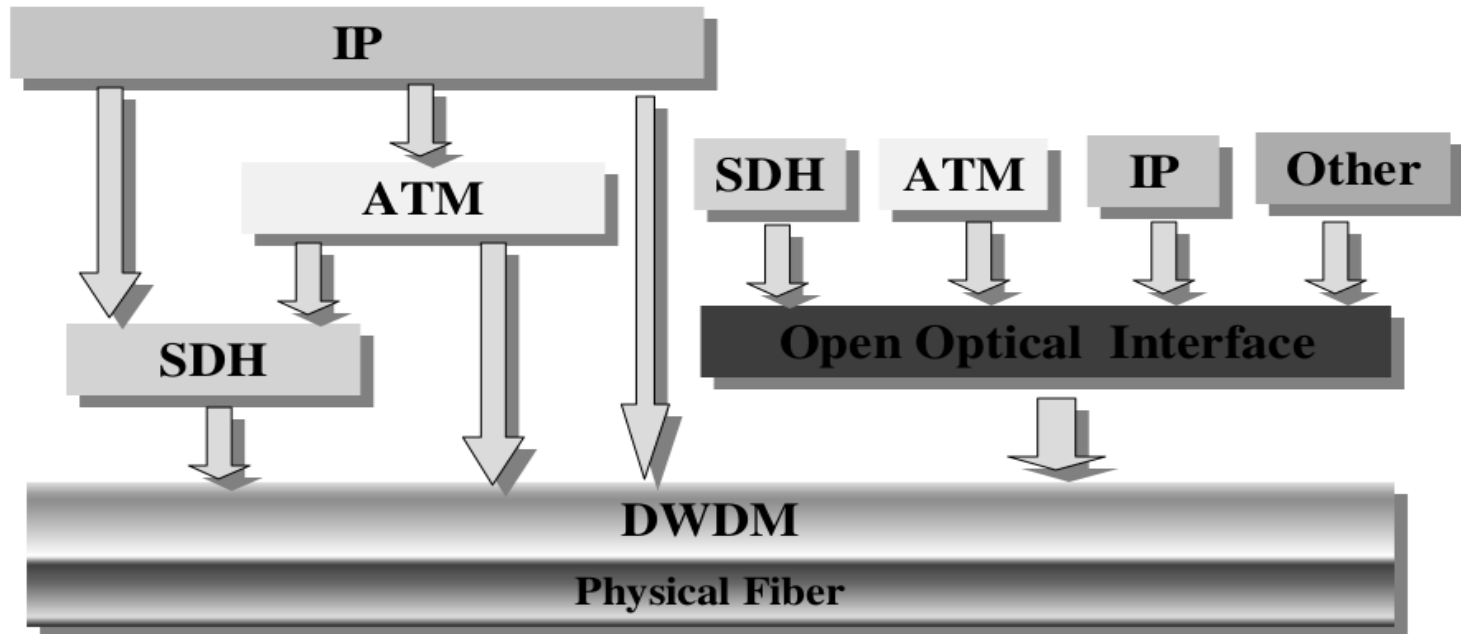
- FDM: multiplexação em Frequência. Rádio, TV...
 - TDM: multiplexação no Tempo. E1, PDH, SDH.
 - WDM?
 - Multiplexação no comprimento de onda
 - Fibra óptica
- Mas $c = \lambda \cdot f$ c = velocidade da luz = constante

WDM

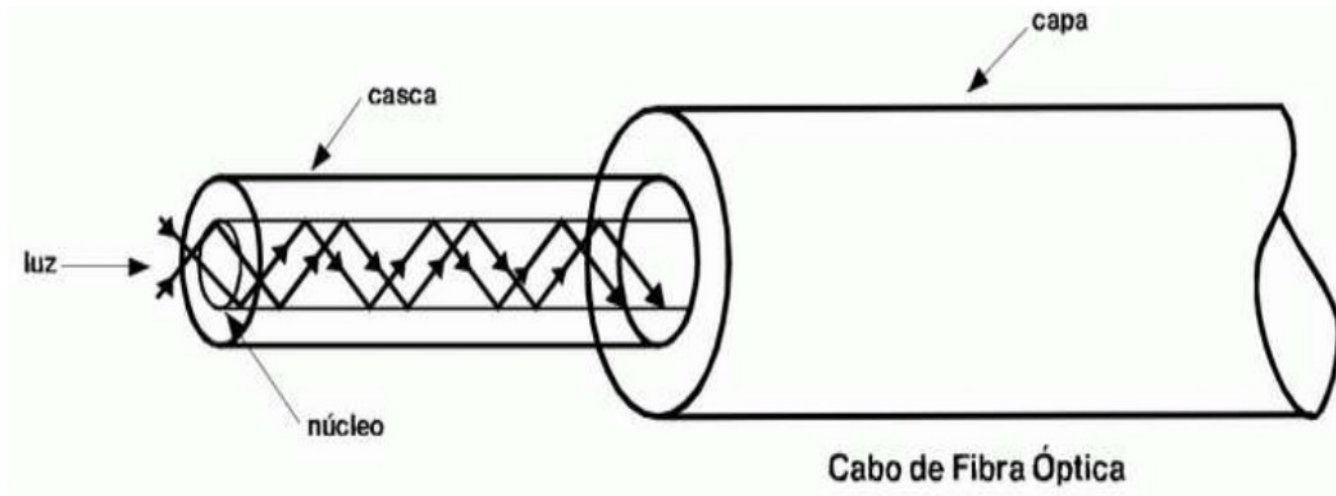


[3]

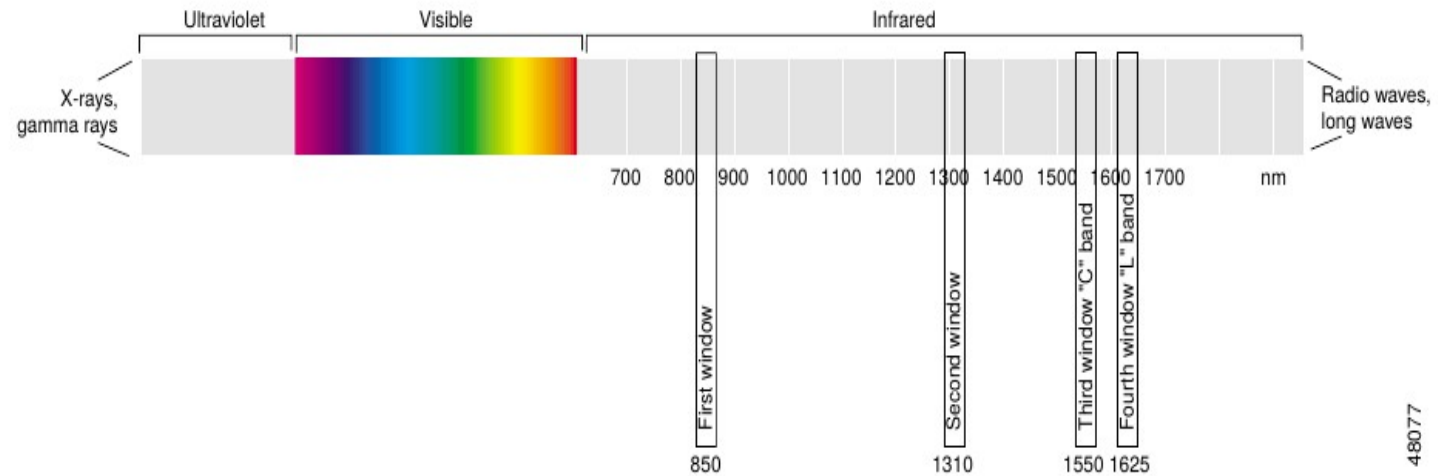
WDM



Fibra Óptica



Espectro Óptico



Introdução

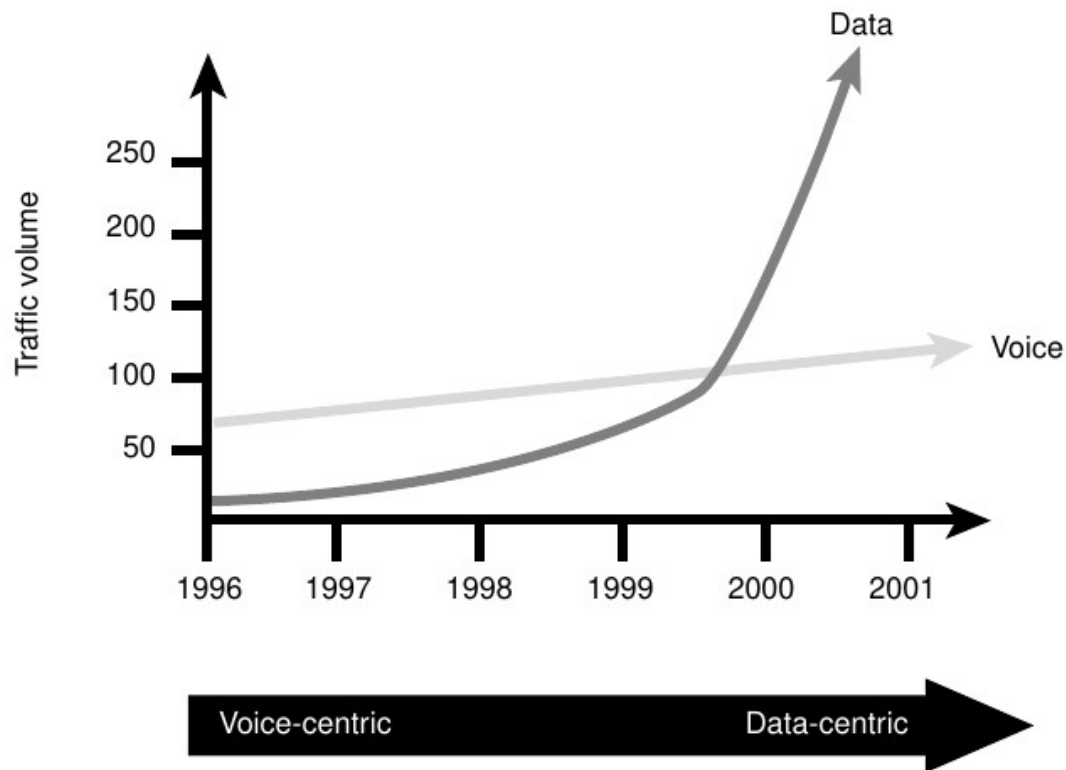
- Fibra óptica como meio de transmissão de sistemas de telecomunicações, final da década de 1970.
- Busca por formas de utilizar toda a banda passante oferecida pela fibra.
- Alcançar taxas de transmissões cada vez maiores.

Introdução

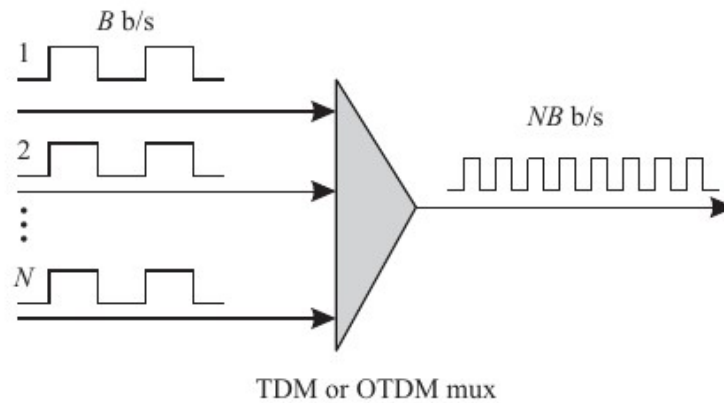
- Sistemas de transmissão telefônicos PDH e SDH, baseadas em TDM, taxas entre 2Mbit/s até 10 Gbit/s.
- Menos de 5% da capacidade de transmissão da fibra.
- Mais recentemente equipamentos SDH com taxas de 40 Gbit/s.

Introdução

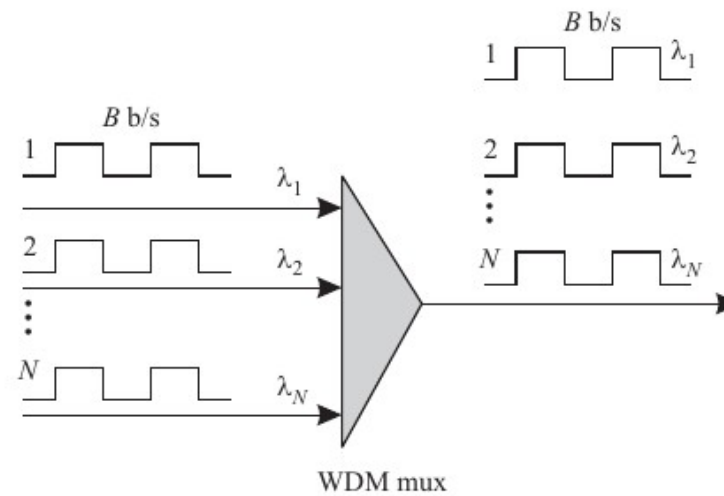
Figure 1-2 Data Traffic Overtakes Voice Traffic



Introdução



(a)



(b)

WDM

- No começo dos anos 80 surgiram propostas de equipamentos WDM (Multiplexação por Divisão de Comprimento de onda).
- Permitiam lançar numa mesma fibra dezenas de canais com altas taxas de transmissão.

.

WDM

- O espectro de transmissão óptico é dividido em diversos canais, mantendo entre eles uma banda de guarda.
- Todos os canais enviados pela mesma fibra.

Canais WDM

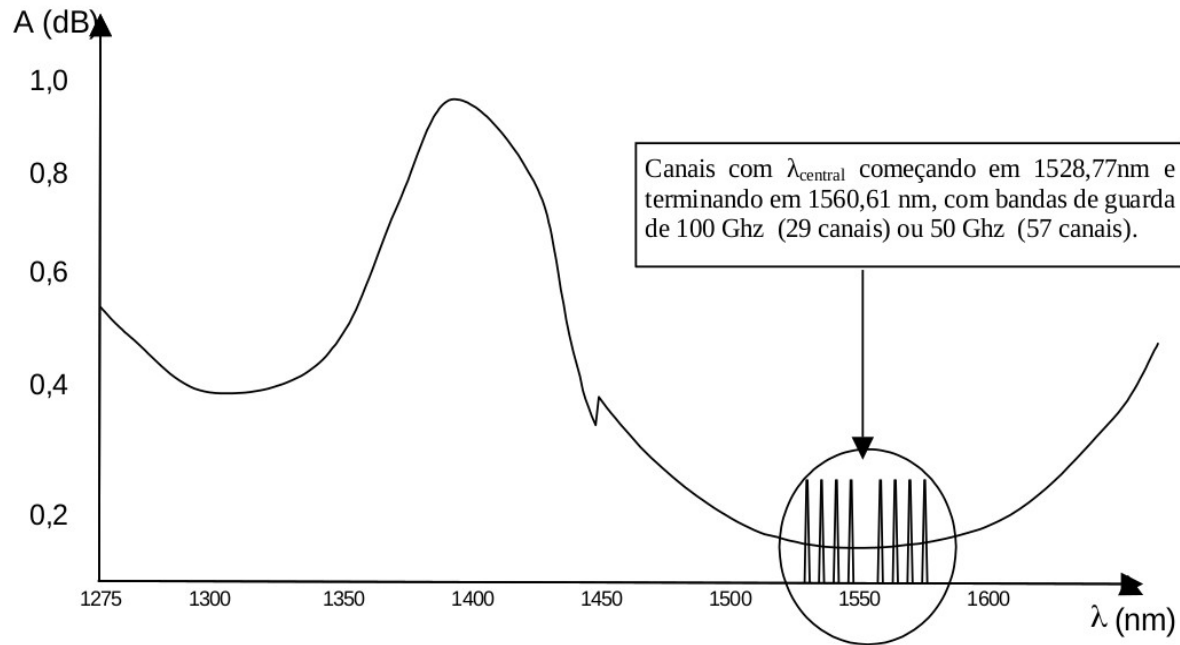


Figura 2.43 - Sistemas WDM, utilizando a janela de 1550nm, enviam diversos canais ópticos numa mesma fibra.

WDM

- Inicialmente a tecnologia permitia apenas 4 ou 8 canais com grande separação entre eles.
- Mais tarde surgiram sistemas WDM com menor espaçamento entre canais, permitindo um maior número.
- Hoje os sistemas WDM são divididos em três categorias.

WDM

- CWDM (coarse WDM) espaçamento de 200 GHz entre canais, com 4 a 16 canais.
- DWDM (dense WDM) espaçamentos de 100, 50 ou 25 GHz, com 16 a 128 canais.
- UDWDM (ultra dense WDM) espaçamentos inferiores a 25 GHz e com número de canais superior a 128.

WDM

- Em termos de espectro os sistemas WDM utilizam as bandas C e L, próximas ao comprimento de onda de 1550 nm.
- Em alguns casos podem-se utilizar todas as bandas entre as janelas de 1310nm e 1550nm.

Bandas

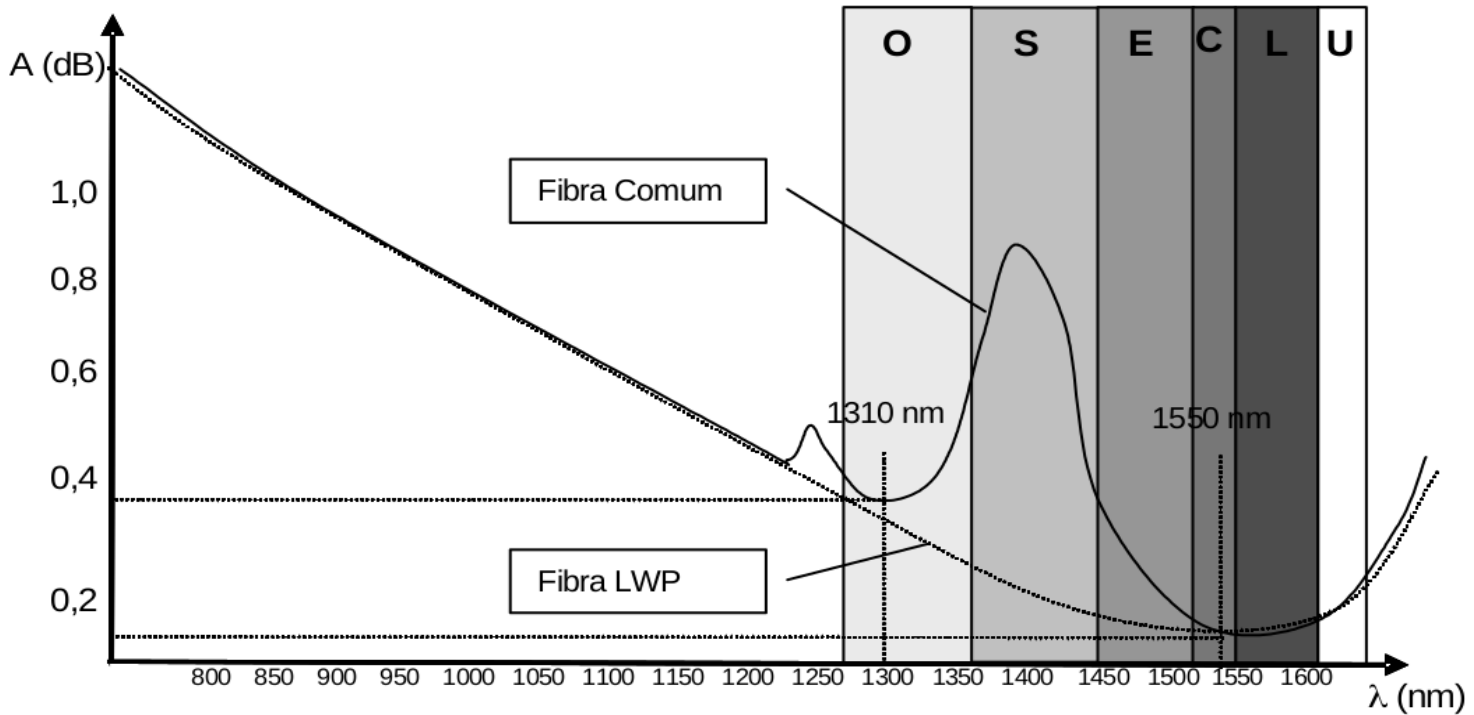


Figura 2.44 - Classificação das bandas do espectro óptico entre 1310nm e 1550nm.

Bandas

Banda	Significado	Espectro óptico	Largura de banda
O	Original	1.260 a 1.360 nm	100 nm
S	Short	1.360 a 1.460 nm	100 nm
E	Expanded	1.460 a 1.530 nm	70 nm
C	Conventional	1.530 a 1.565 nm	35 nm
L	Long	1.565 a 1.625 nm	60 nm
U	Ultra long	1.625 a 1675 nm	50 nm

Figura 2.45 - Denominação, λ e largura de banda das faixas do espectro óptico nas janelas de 1310 e 1550 nm

ITU G.692

Frequency (THz ¹)	Wavelength (nm ²)	Frequency (THz)	Wavelength (nm)	Frequency (THz)	Wavelength (nm)
196.1	1528.77	164.6	1540.56	193.1	1552.52
196.0	1529.55	194.5	1541.35	193.0	1553.33
195.9	1530.33	194.4	1542.14	192.9	1554.13
195.8	1531.12	194.3	1542.94	195.8	1554.94
195.7	1531.9	194.2	1543.73	192.7	1555.75
195.6	1532.68	194.1	1544.53	192.6	1556.56
195.5	1533.47	194.0	1545.32	195.5	1557.36
195.4	1534.25	193.9	1546.12	192.4	1558.17
195.3	1535.04	193.8	1546.92	192.3	1558.98
195.2	1535.82	193.7	1547.72	192.2	1559.79
195.1	1536.61	193.6	1548.51	192.1	1560.61
195.0	1537.40	193.5	1549.32	192.0	1561.42
194.9	1538.19	192.4	1550.12	191.9	1562.23
194.8	1538.98	193.3	1550.92	191.8	1563.05
194.7	1539.77	193.2	1551.72	191.7	1563.86

1. THz = terahertz
2. nm = nanometer

Enlace WDM

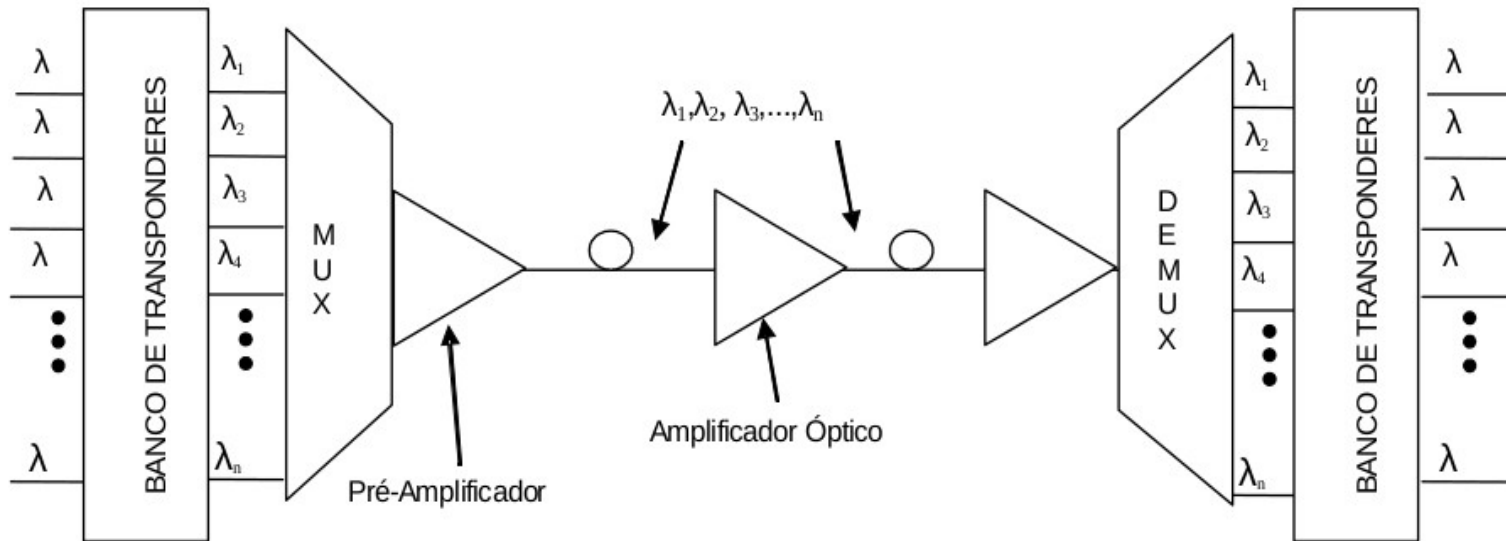
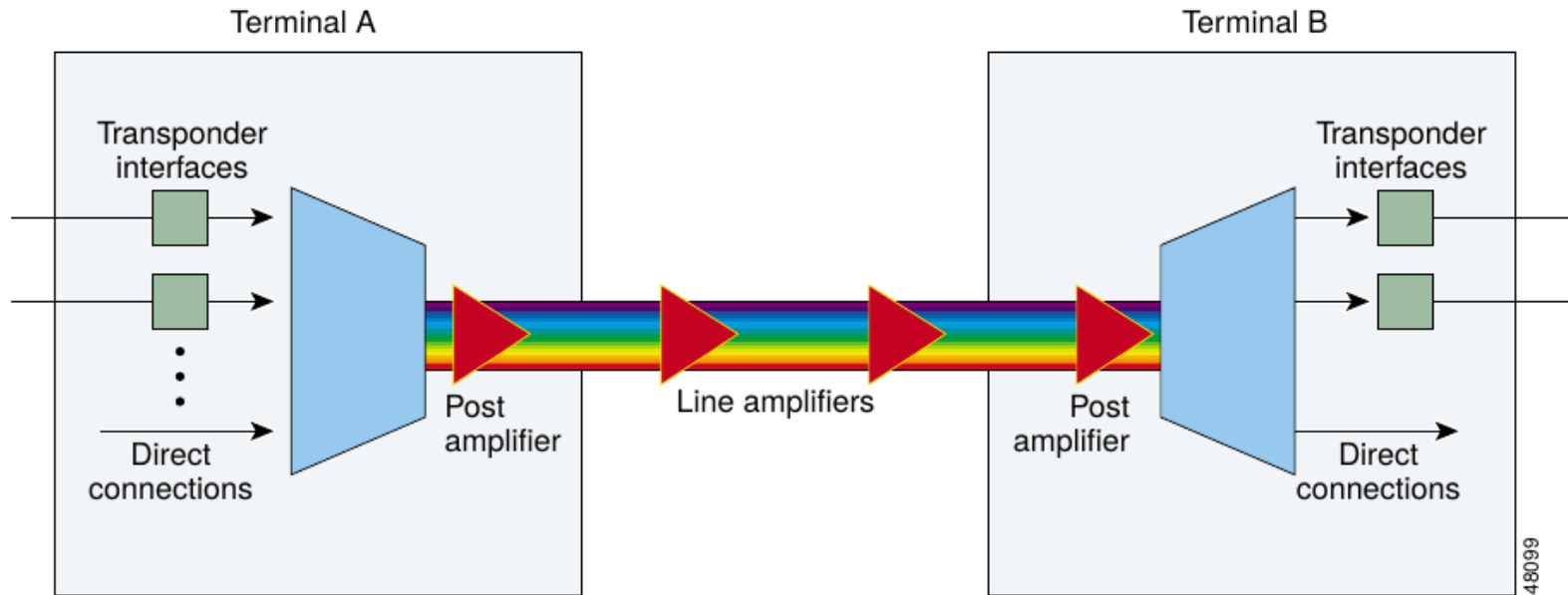


Figura 2.49 - Enlace ponto a ponto de WDM.

Enlace WDM



Equipamentos

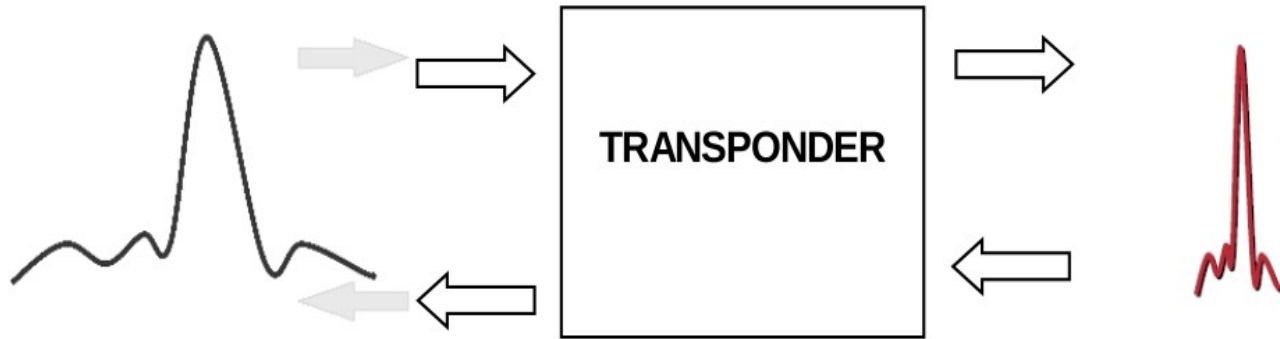
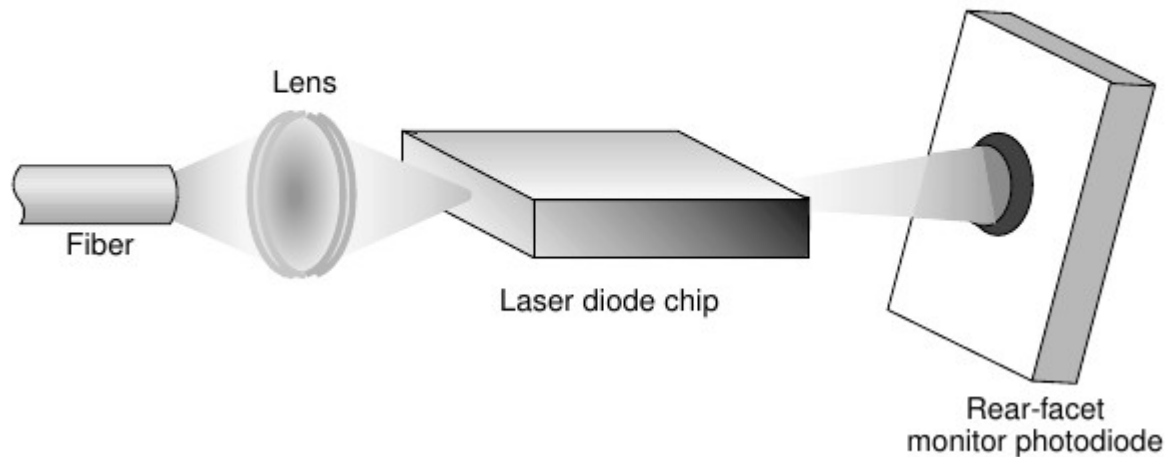


Figura 2.46 - Transponder Óptico.

Equipamentos

- Fontes:
 - LEDs e Lasers

Figure 2-15 Typical Laser Design



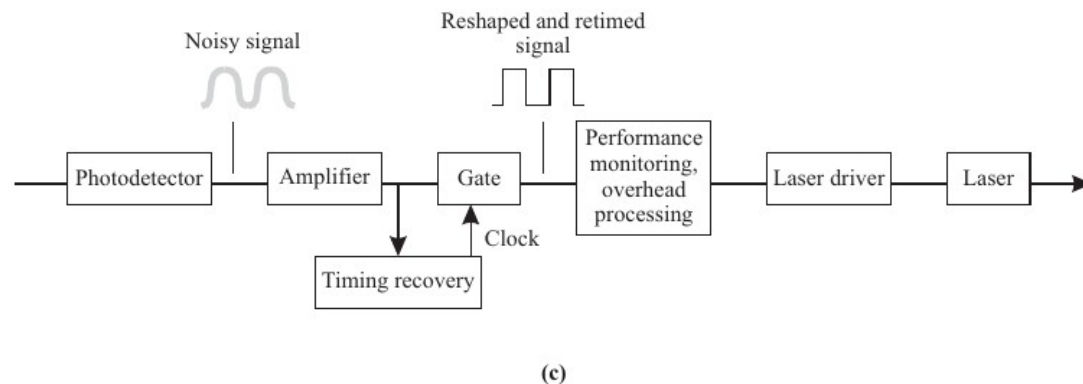
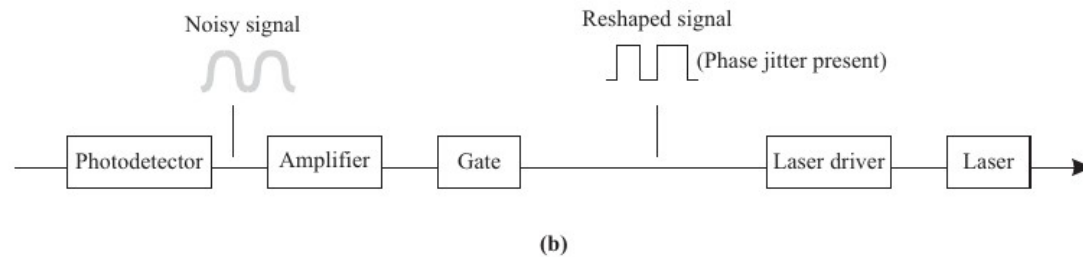
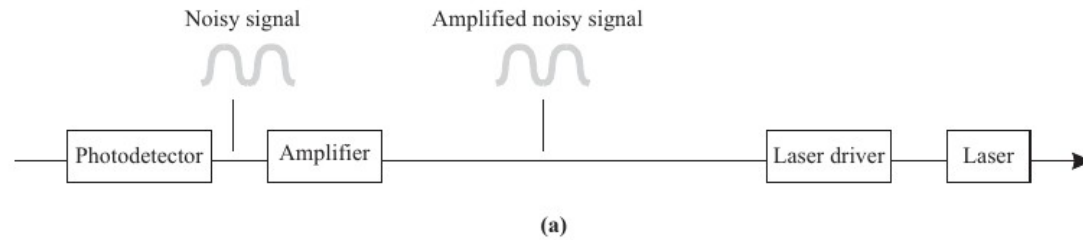
Equipamentos

- Receptores:
 - Fotodiodo PIN (positive-intrinsic-negative)
 - Fotodiodo de avalanche (APD)

Transponder

- Conversor de comprimento de onda: converte o sinal de um λ de entrada para outro λ de saída (canal WDM).
- Tipos:
 - Optoeletrônico *;
 - Optical gating;
 - Interferometric;
 - Wave mixing.

Transponder * (ref: Ramaswani)



Transponder

- Exemplo:

- Four wave mixing.

W canais = $W(W-1)^2$ sinais

$$\omega_f = \omega_i + \omega_j - \omega_k, \text{ onde } i \neq k \text{ e } j \neq k$$

https://www.youtube.com/watch?v=8nwmpgn_Kyc

Four wave mixing

- Exemplo:

— ω_1, ω_2 e ω_3

ω_f :

$$\omega_1 + \omega_1 - \omega_3 \quad \omega_1 + \omega_1 - \omega_2 \quad \omega_2 + \omega_2 - \omega_1$$

$$\omega_1 + \omega_2 - \omega_3 \quad \omega_1 + \omega_3 - \omega_2 \quad \omega_2 + \omega_3 - \omega_1$$

$$\omega_2 + \omega_1 - \omega_3 \quad \omega_3 + \omega_1 - \omega_2 \quad \omega_3 + \omega_2 - \omega_1$$

$$\omega_2 + \omega_2 - \omega_3 \quad \omega_3 + \omega_3 - \omega_2 \quad \omega_3 + \omega_3 - \omega_1$$

Equipamentos – mux

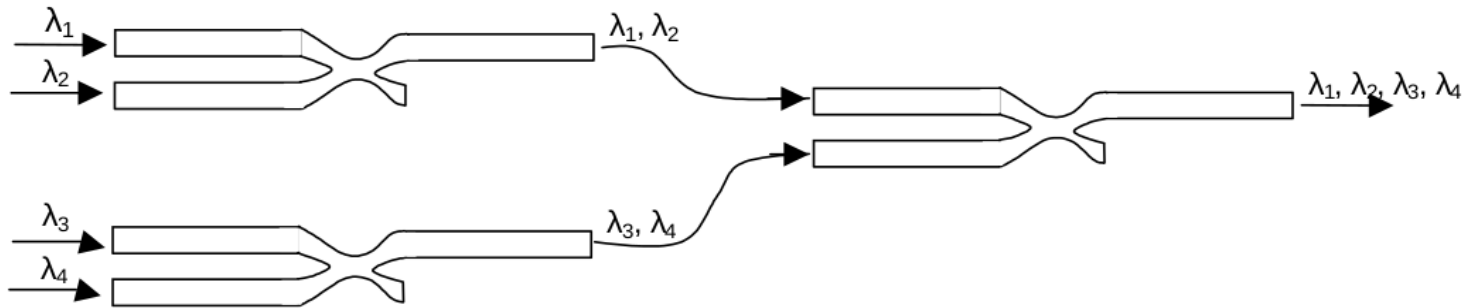
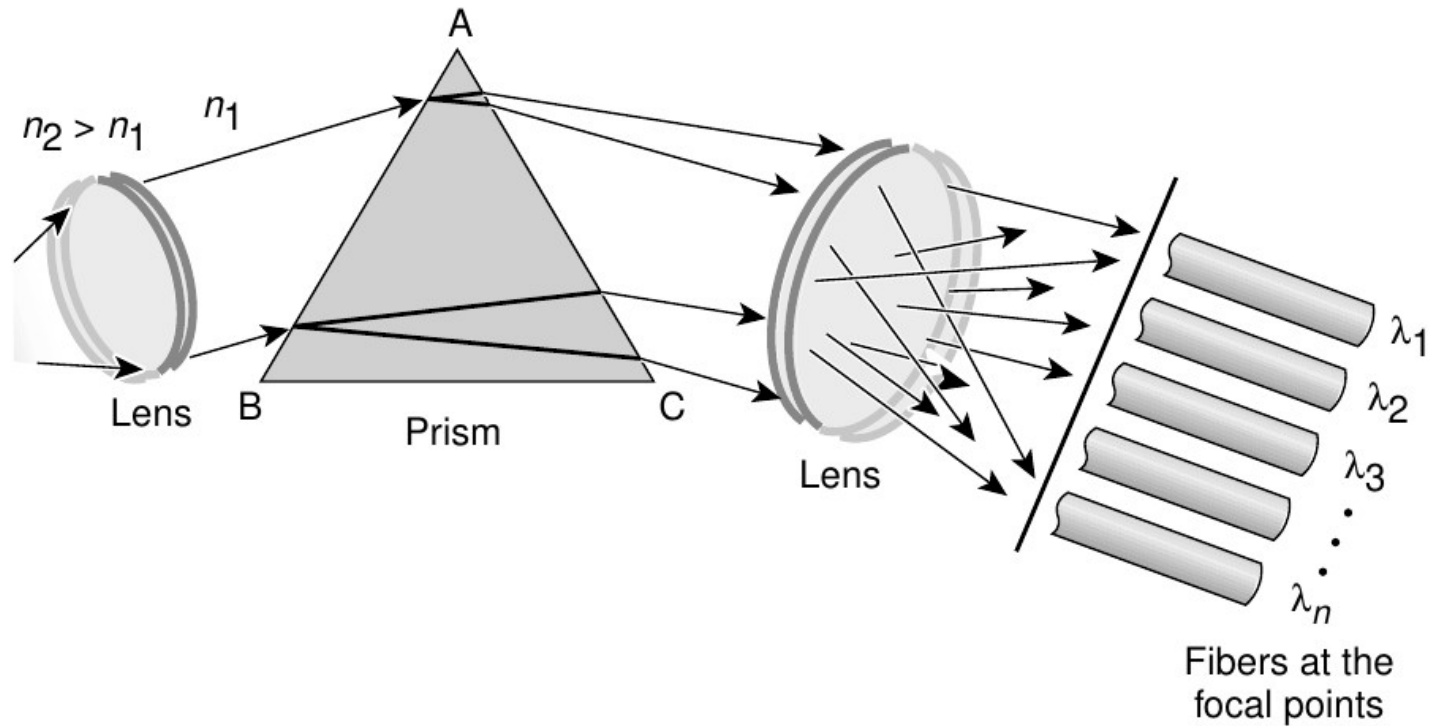


Figura 2.47 - Princípio de funcionamento do acoplador óptico.

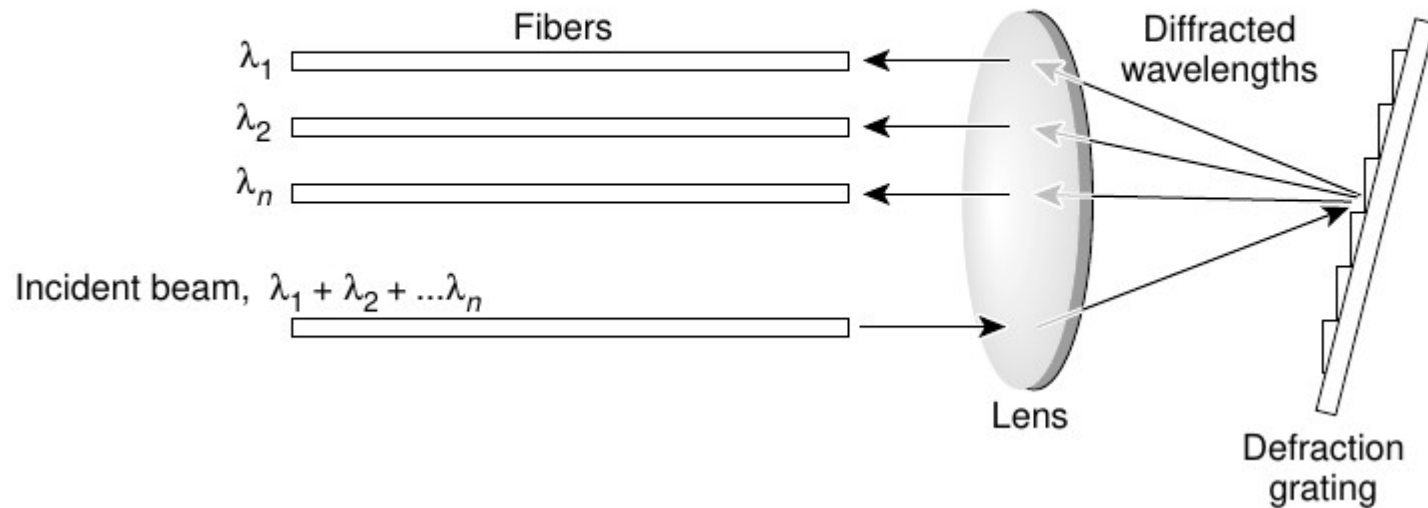
Equipamentos – mux/demux

Figure 2-20 Prism Refraction Demultiplexing



Equipamentos – mux/demux

Figure 2-21 Waveguide Grating Diffraction



Equipamentos - mux/demux

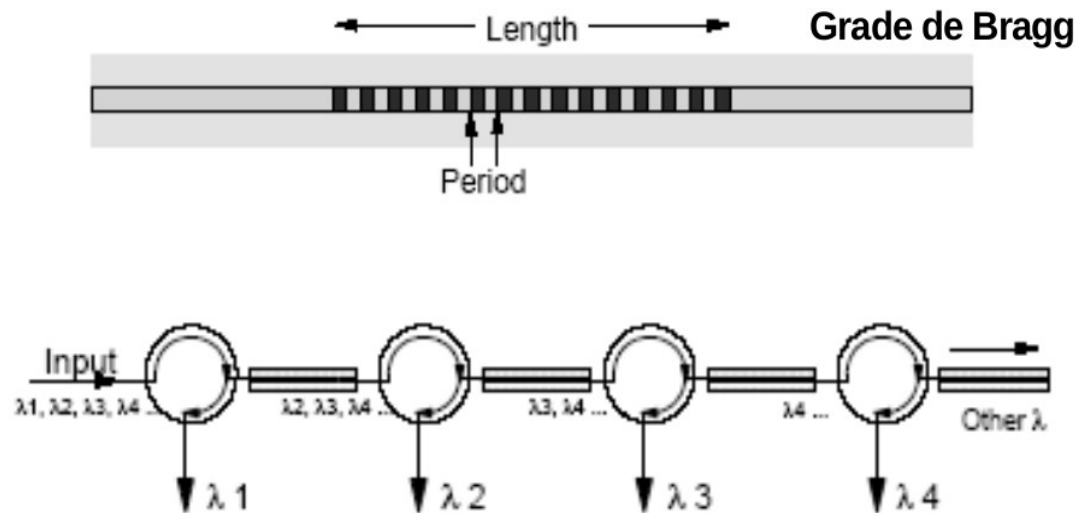
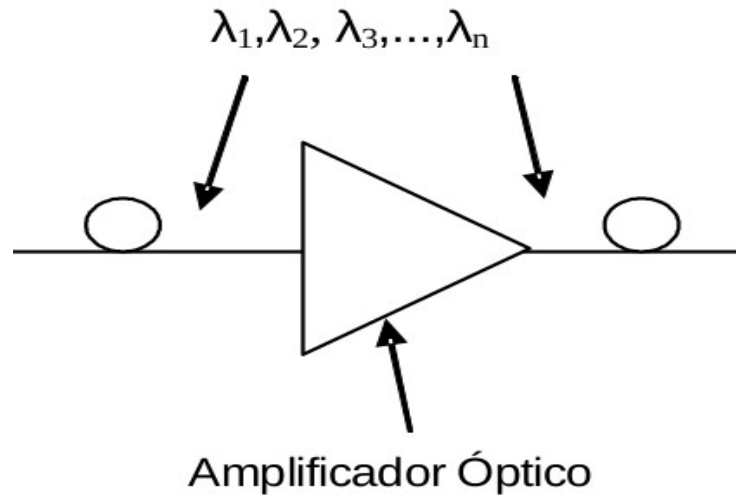


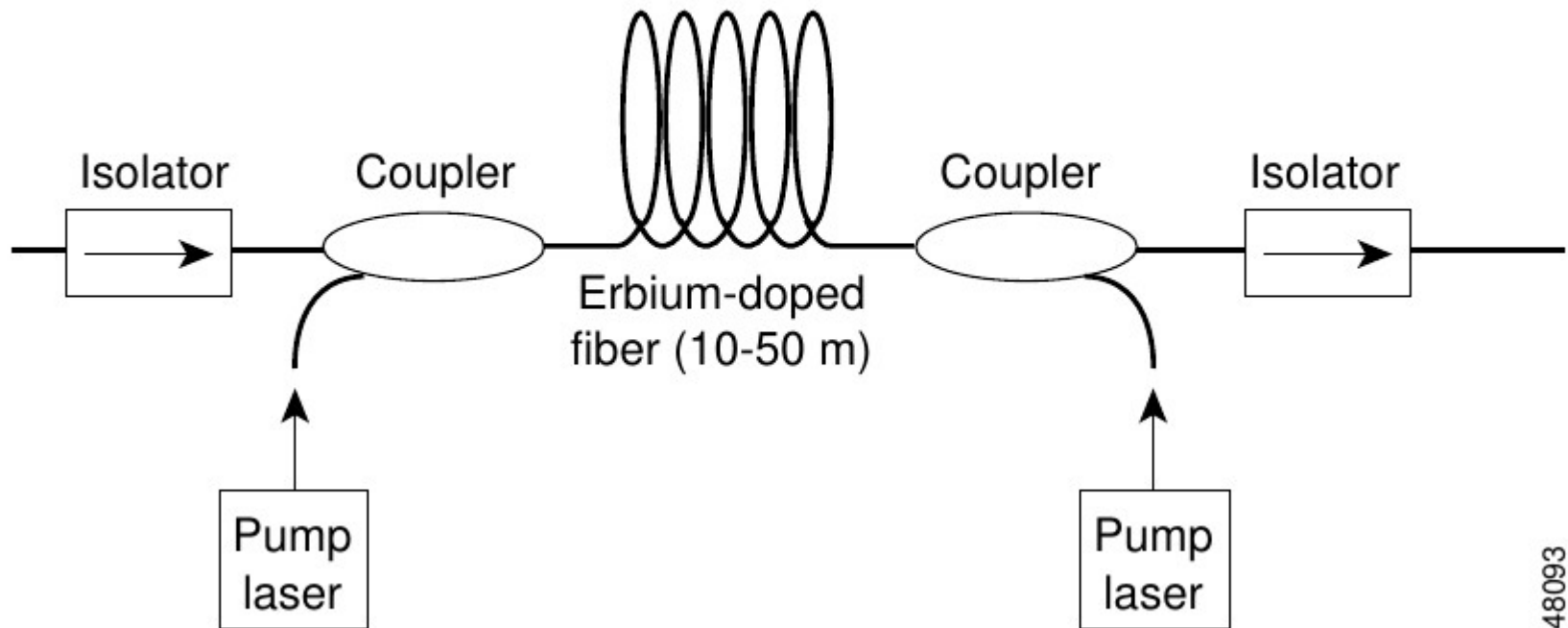
Figura 2.48 - Grade de Bragg e um circuito com circuladores e a grade de Bragg selecionando comprimentos de onda para demultiplexação.

Equipamentos - Amp



Equipamentos – Amp EDFA

Figure 2-17 Erbium-Doped Fiber Amplifier Design



Equipamentos

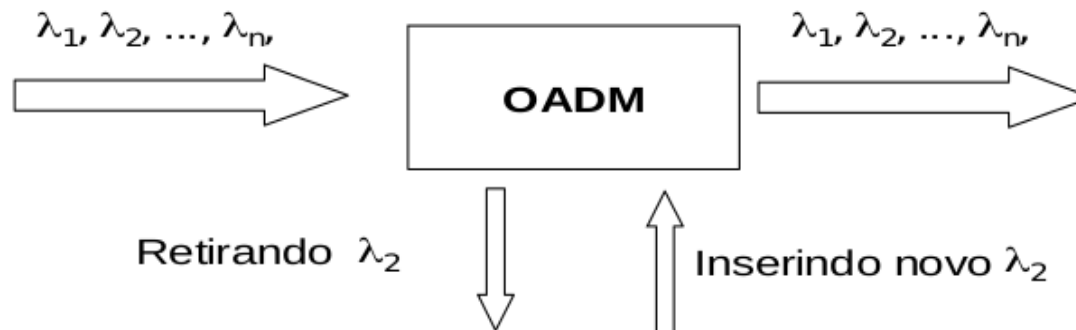


Figura 2.50 - Diagrama do OADM.

Equipamentos

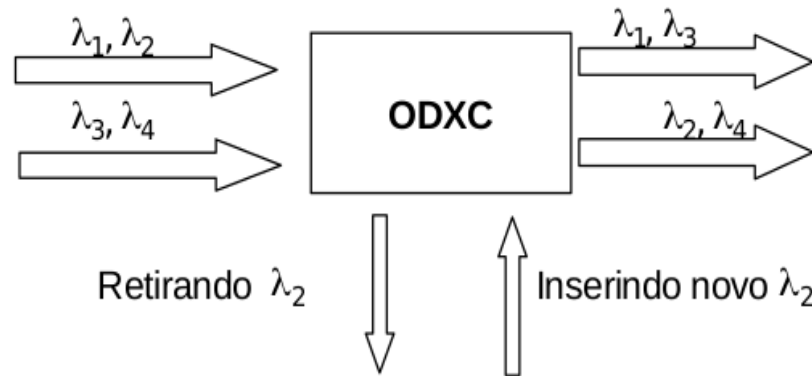


Figura 2.51 - Diagrama do ODXC.

Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexing - ROADM



Mux/Demux DWDM Passivo



XYT 纤亿通
www.xyt-tech.com



19 Polegada 1u cremalheira 100gh

19 Polegada 1u cremalheira 100ghz fibra óp

[Ver detalhes do produto](#)

R\$ 3.243,17

[AliExpress.com](#)

Entrega de R\$ 85,02

Transceiver DWDM



**SFP+ 80KM 10G U
DWDM-SFP10G-1**

R\$3.673,67

ou 10x de R\$367,37

R\$3.416,51

à vista no cartão ou boleto

Compre agora e receba até: *

Segunda, 18/Jul - Capitais Sul e

Sudeste

(*) prazo válido para compra com frete expresso
no cartão, encerrada com restrição

VOA

[All Products](#)[Solutions](#)[Services](#)[Support](#)[About Us](#)

[Home](#) / [Optical Networking](#) / [Open Line System](#) / [Chassis & Accessories](#) / 107373



M6200-SFPVOA, SFP Variable Optical Attenuator Module #107373


409,00 € (Excl. VAT)


486,71 € (Incl. VAT) ⓘ

240 Sold | 6 Reviews | 7 Questions

FS P/N: M6200-SFPVOA


Models:

 M6500 5U Chassis Platform


 M6500 2U Chassis Platform

 2x QSFP28/4x QSFP+ to 1x CFP2

 16x QSFP28 to 8x CFP2

 CFP2-DCO | 1000km

 40CH DWDM Mux Demux

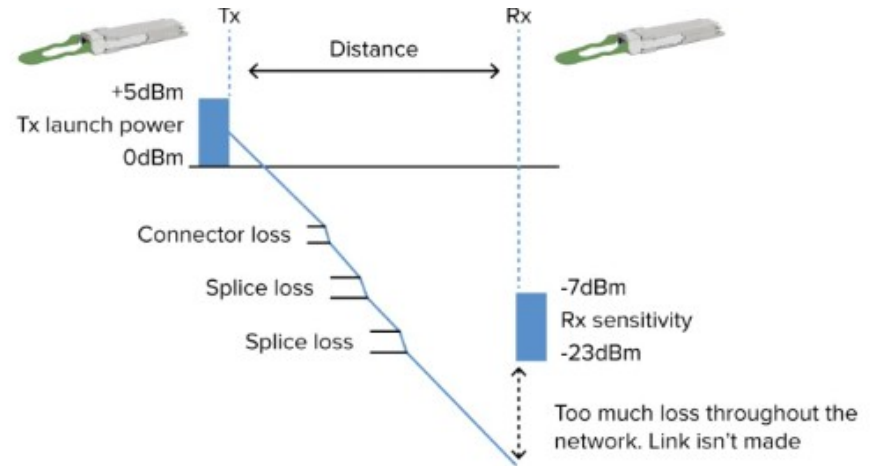
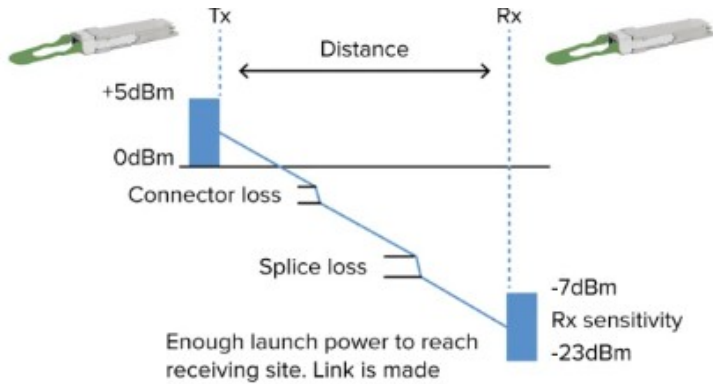
 16CH DWDM Mux Demux

 8CH DWDM Mux Demux

 Pre-Amplifier EDFA

 Booster EDFA

Link Budget



Link Budget

[https://info.support.huawei.com/network/ptmngsys/Web/transmission
Network_portal/en/engineer/tools/calculator_WDM.html](https://info.support.huawei.com/network/ptmngsys/Web/transmissionNetwork_portal/en/engineer/tools/calculator_WDM.html)

#

Link Budget

Exemplo 1:

- Tráfego 10G
- SFP+ ZR transceiver.
- Power budget is 23 dB.
- Mux/demux 16 canais com perda de 4,5 dB.
- Perda na fibra igual a 0,25 dB/km. Enlace de 60 km = $0,25 \text{ dB/km} \times 60 = 15 \text{ dB}$.

Link Budget

Exemplo 1:

- Link budget:
- Transceiver power budget: 23 dB
- Perda na fibra: 15 dB
- Perda no Mux/Demux: 4,5 dB
- Link margin (conectores, divisores, etc):
1,0 dB
-
- Perda total no link: 20,5 dB

Link Budget

▪

Exemplo 2:

- Se a perda na fibra for igual a 0,4 dB/km (em vez de 0,25 dB).
-
- Link budget:
- Transceiver power budget: 23dB
- Perda na fibra de 60 km com at 0,4 dB/km: 24dB

Exemplos de aplicação

<https://www.youtube.com/watch?v=7JoK-NqzkBI>

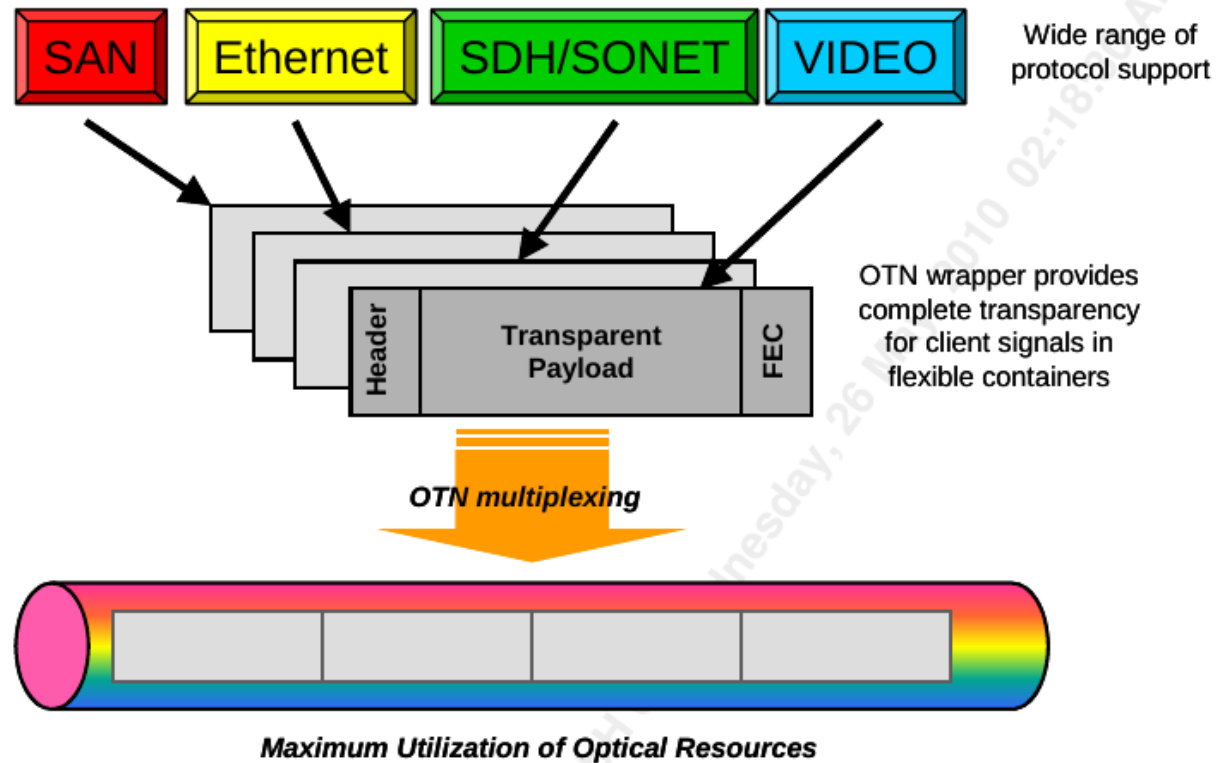
https://www.youtube.com/watch?v=inOh_W1ozPY&t=1151s

https://info.support.huawei.com/network/ptmngsys/Web/transmissionNetwork_portal/en/engineer/tools/calculator_WDM.html

Optical Transport Networks

- G.872: Architecture for the Optical Transport Network (canal óptico, seção de multiplexação óptica e seção de transmissão óptica).
- G.709: Interfaces for the optical transport network.

Optical Transport Networks



Optical Transport Networks (G.709 - OTN)

- Mais “simples” que SONET/SDH.
- Cabeçalhos específicos para transporte de serviços em redes DWDM.
- Transporte transparente dos serviços.
- Redução de custos das operadoras.

Por que usar OTN

- Melhor correção de erros (FEC: Forward Error Correction).
- Mais níveis de TCM - Tandem Connection Monitoring: interconexão.
- Maior granularidade (níveis de transmissão).

Por que usar OTN: FEC

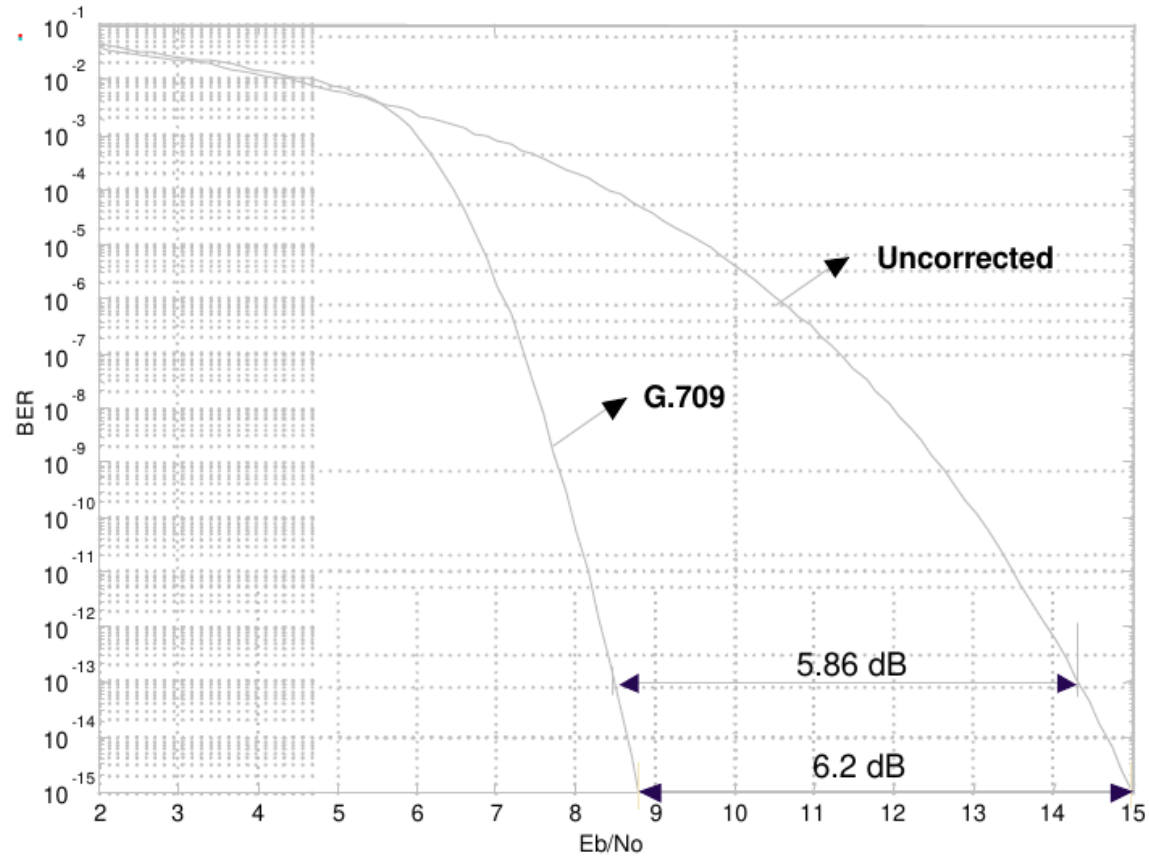


Figure 6 BER vs E_b/N_0

- [4]

Por que usar OTN: TCM

- Interconexão entre operadoras.
- Interoperabilidade entre diferentes fabricantes.
- Supervisão, QoS, proteção.

Por que usar OTN: granularidade

Table 1 OTN signal and payload rates

k	OTUk signal rate	OPUk payload area rate	OTUk/ODUk/OPUk frame period
0	Not applicable	$238/239 \times 1\,244\,160 \text{ kbit/s}$ $= 1\,238\,954 \text{ kbit/s}$	98.354 μs
1	$255/238 \times 2\,488\,320 \text{ kbit/s}$ $= 2\,666\,057 \text{ kbit/s}$	2 488 320 kbit/s	48.971 μs
2	$255/237 \times 9\,953\,280 \text{ kbit/s}$ $= 10\,709\,225 \text{ kbit/s}$	$238/237 \times 9\,953\,280 \text{ kbit/s}$ $= 9\,995\,277 \text{ kbit/s}$	12.191 μs
3	$255/236 \times 39\,813\,120 \text{ kbit/s}$ $= 43\,018\,414 \text{ kbit/s}$	$238/236 \times 39\,813\,120 \text{ kbit/s}$ $= 40\,150\,519 \text{ kbit/s}$	3.035 μs
4	$255/227 \times 99\,532\,800 \text{ kbit/s}$ $= 111\,809\,974 \text{ kbit/s}$	$238/227 \times 99\,532\,800 \text{ kbit/s}$ $= 104\,355\,975 \text{ kbit/s}$	1.168 μs
Note: All rates are ± 20 ppm.			

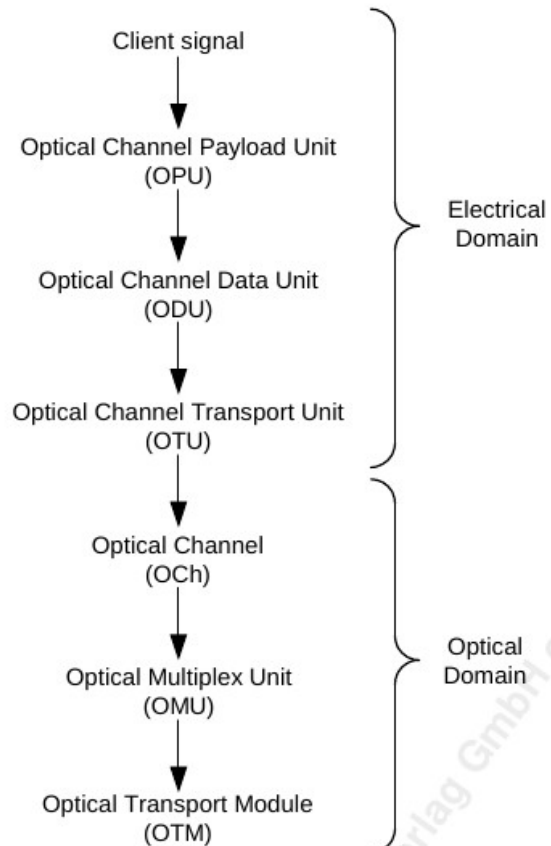
- [4]

Por que “não”usar OTN

- Hardware e sistemas de gerência adicionais.

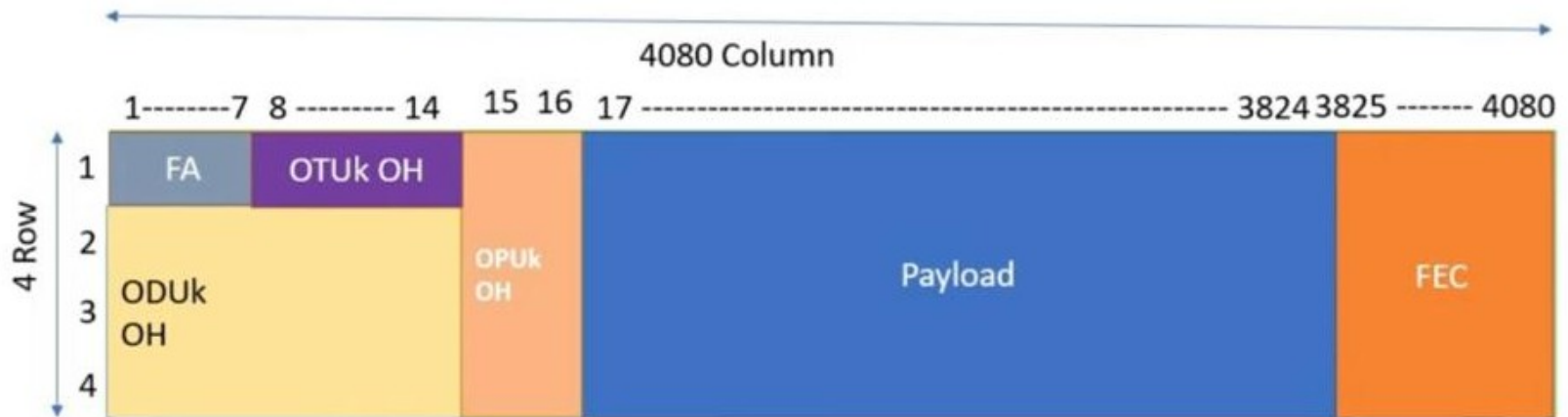
OTN

Figure 2 Information flow illustration for an OTN signal



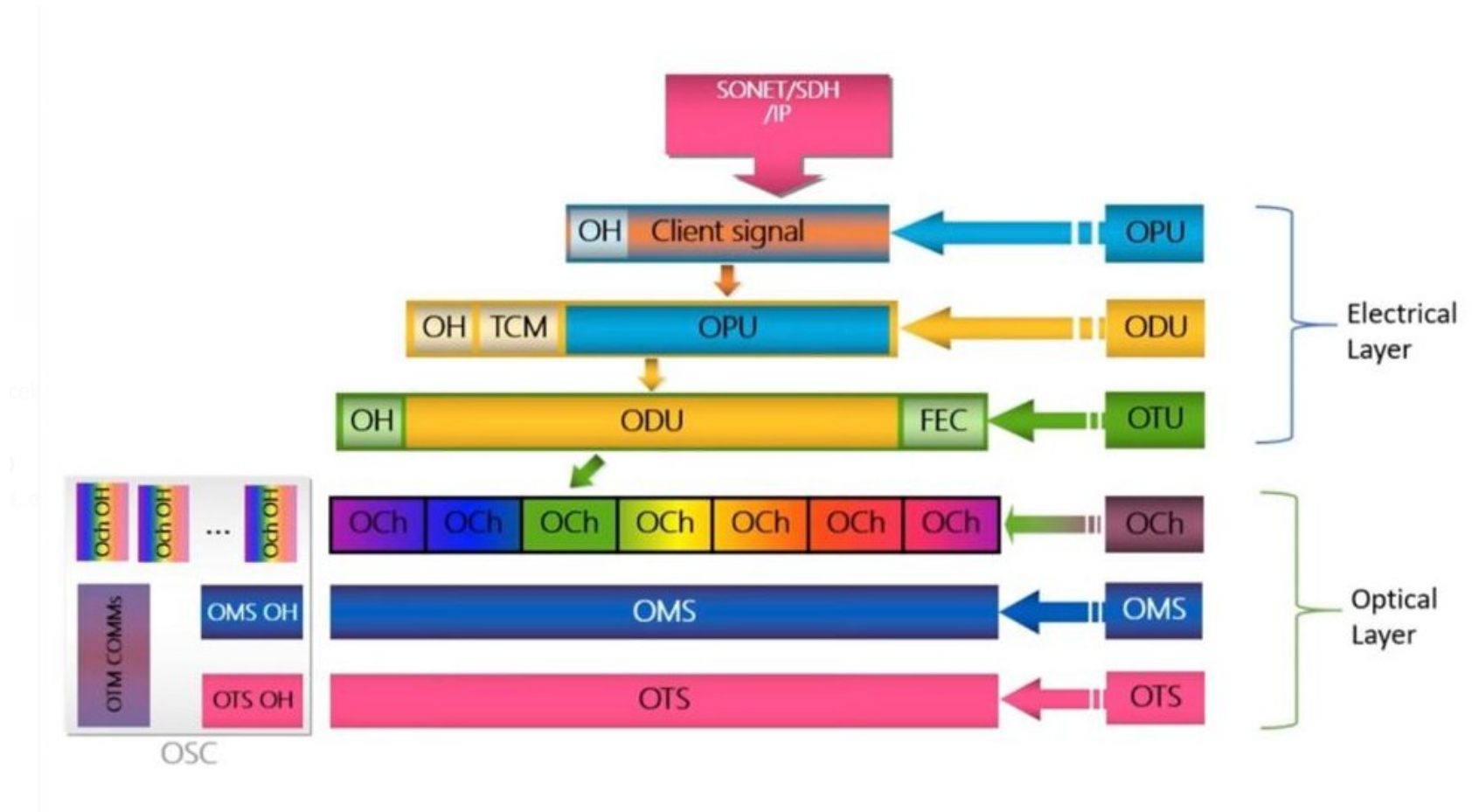
OTN: quadro

Obs: detalhar OPU, ODU e OTU.



- [6]

OTN: mapeamento



- [6]

Unidades

- OPU: payload do serviço acrescido de cabeçalho de via OPU_OH;
- ODU: é a estrutura necessária para transportar o OPU. O ODU consiste do payload do OPU acrescido do ODU Overhead (ODU-OH). O ODU-OH fornece funções de monitoramento da conexão da camada de via.

Unidades

- OTU: realiza o tratamento da ODU para a transmissão óptica. Composta pela ODU, mais o OPU Overhead (OTU-OH), mais o bloco Forward Error Correction (FEC). O OTU-OH fornece funções de monitoramento da conexão da camada de seção.

Unidades

- Och: várias seções overhead são adicionadas ao sinal de cliente, o qual junto com o FEC forma o Optical Transport Unit (OTU). O OTU é carregado então por um único comprimento de onda como um Optical Channel (OCh);

Unidades

- Non-Associated Overhead: como múltiplos comprimentos de onda são transportados sobre a OTN, um overhead deve ser adicionado para habilitar a funcionalidade de gerenciamento do OTN.

Unidades

- Uma vez que o optical channel é formado, um adicional OH não associado é adicionado aos comprimentos de onda OCh, o qual forma a Optical Multiplexing Sections (OMS) e a Optical Transmission Sections (OTS).

Unidades

- Optical Multiplexing Sections (OMS): na camada OMS, o payload OMS e o Non-Associated Overhead (OMS OH) são transportados. O payload OMS consiste de OCh's multiplexados.

Unidades

- O OMS-OH, embora indefinido neste ponto, suporta a monitoração da conexão e assiste a provedores de serviço na solução e isolamento de falhas na OTN;.

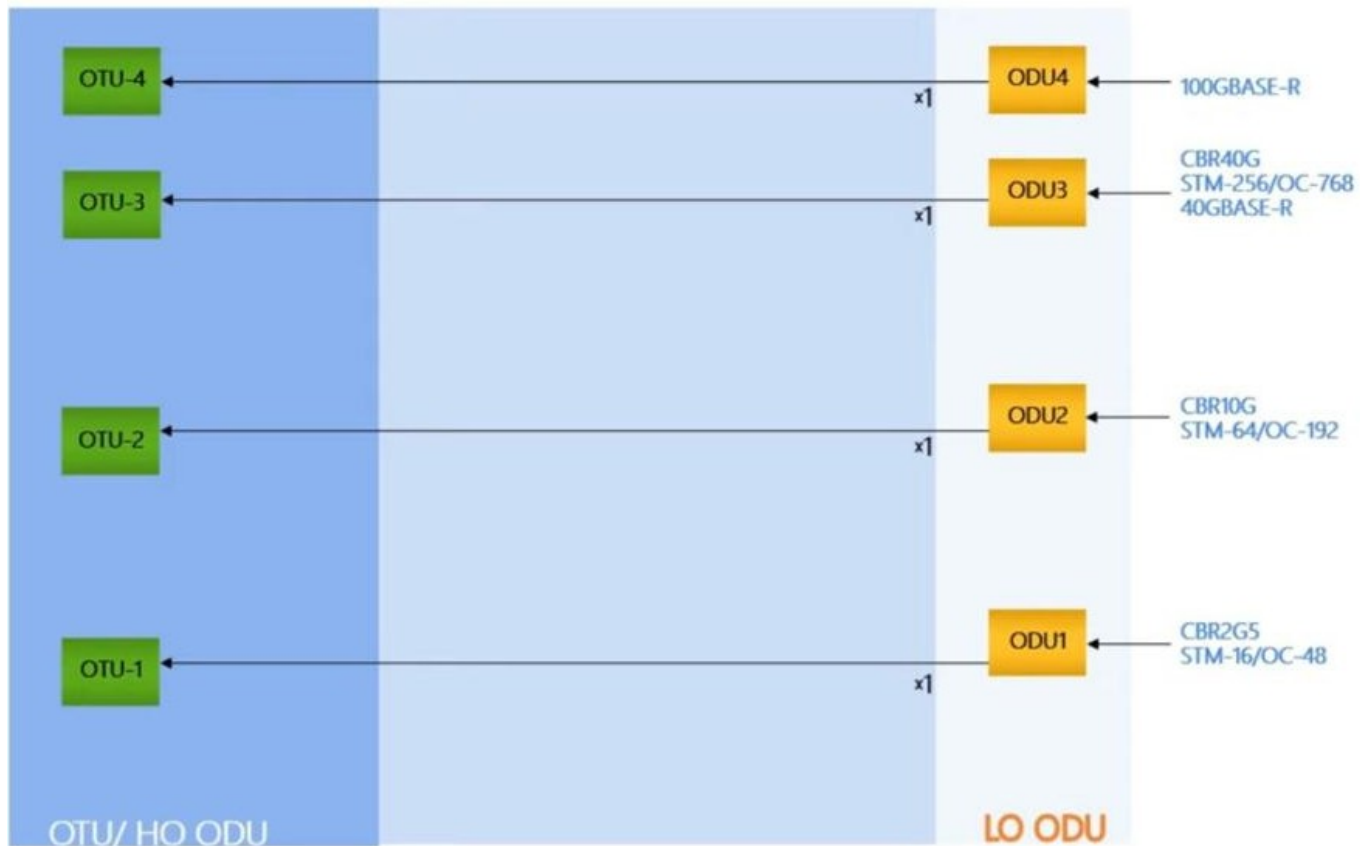
Unidades

- Optical Transmission Sections (OTS): na camada OTS, o payload OTS e o OTS Overhead (OTS-OH) são transportados. Similar ao OMS, o OTS transporta as seções multiplexadas opticamente.

Unidades

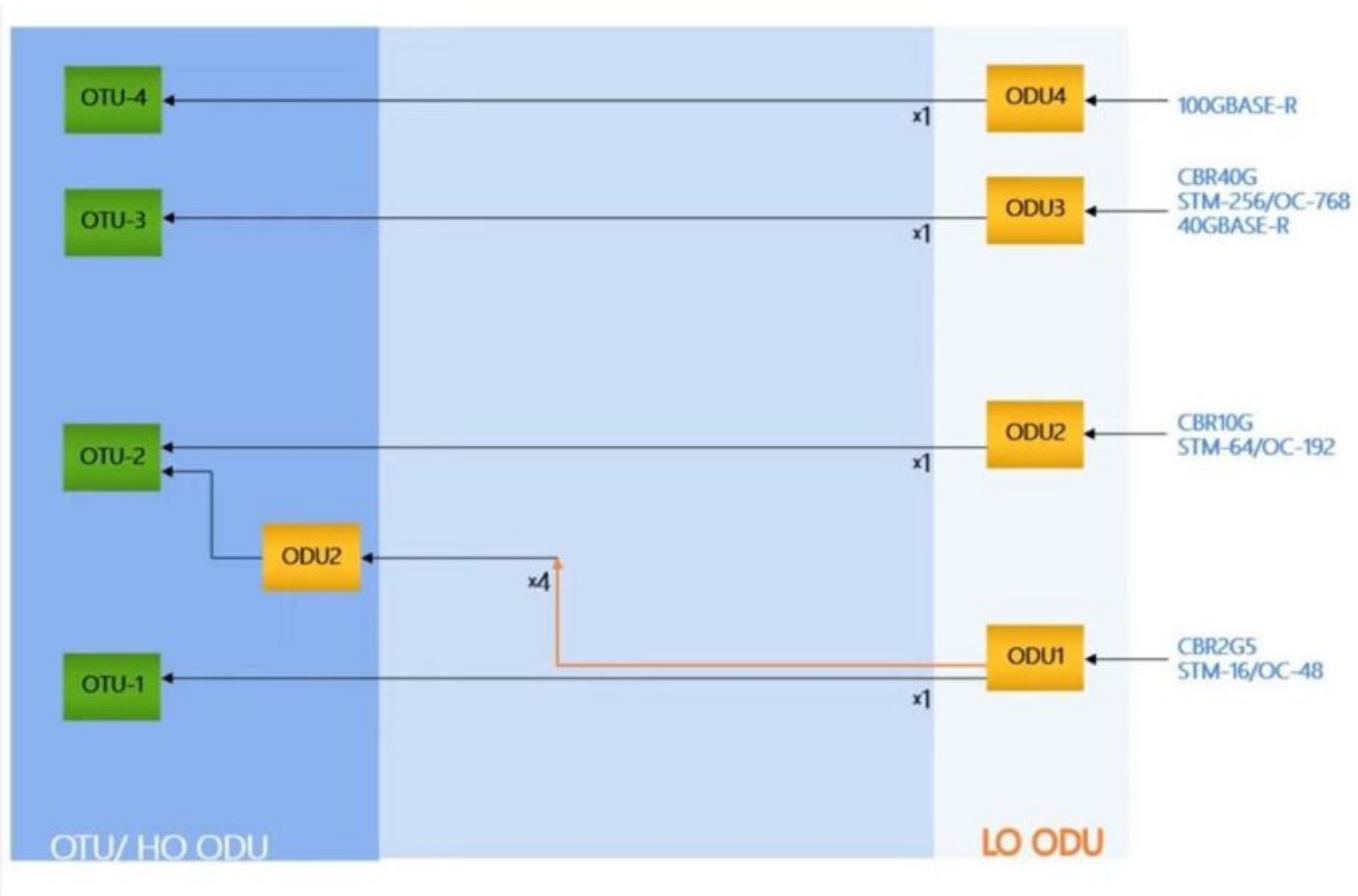
- O OTS-OH, embora não completamente definido, é usado para funções de manutenção e operação. A camada OTS permite ao operador da rede executar trabalhos de monitoração e manutenção entre NEs, os quais incluem: OADMs, multiplexers, demultiplexers e optical switches.

OTN: multiplexação



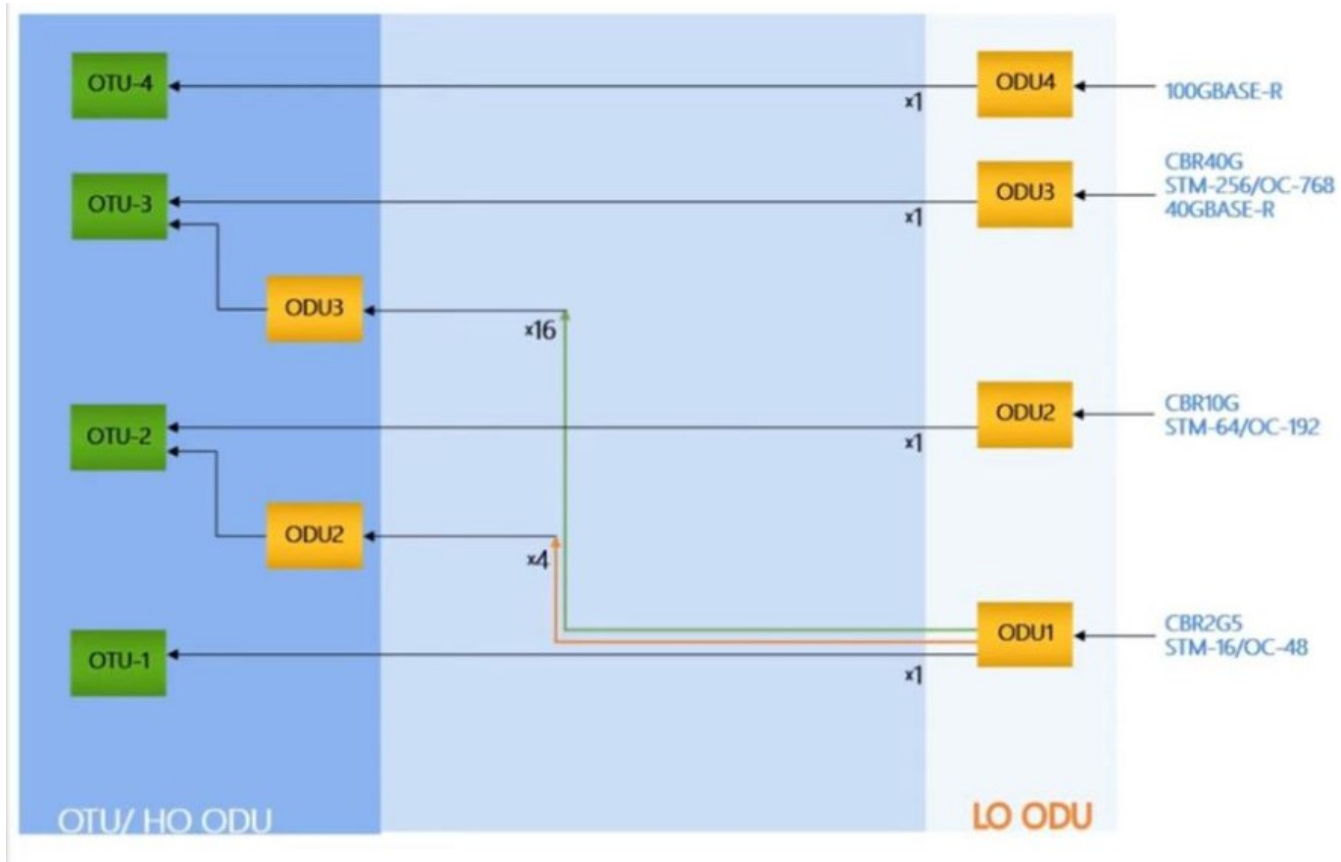
- [6]

OTN: multiplexação



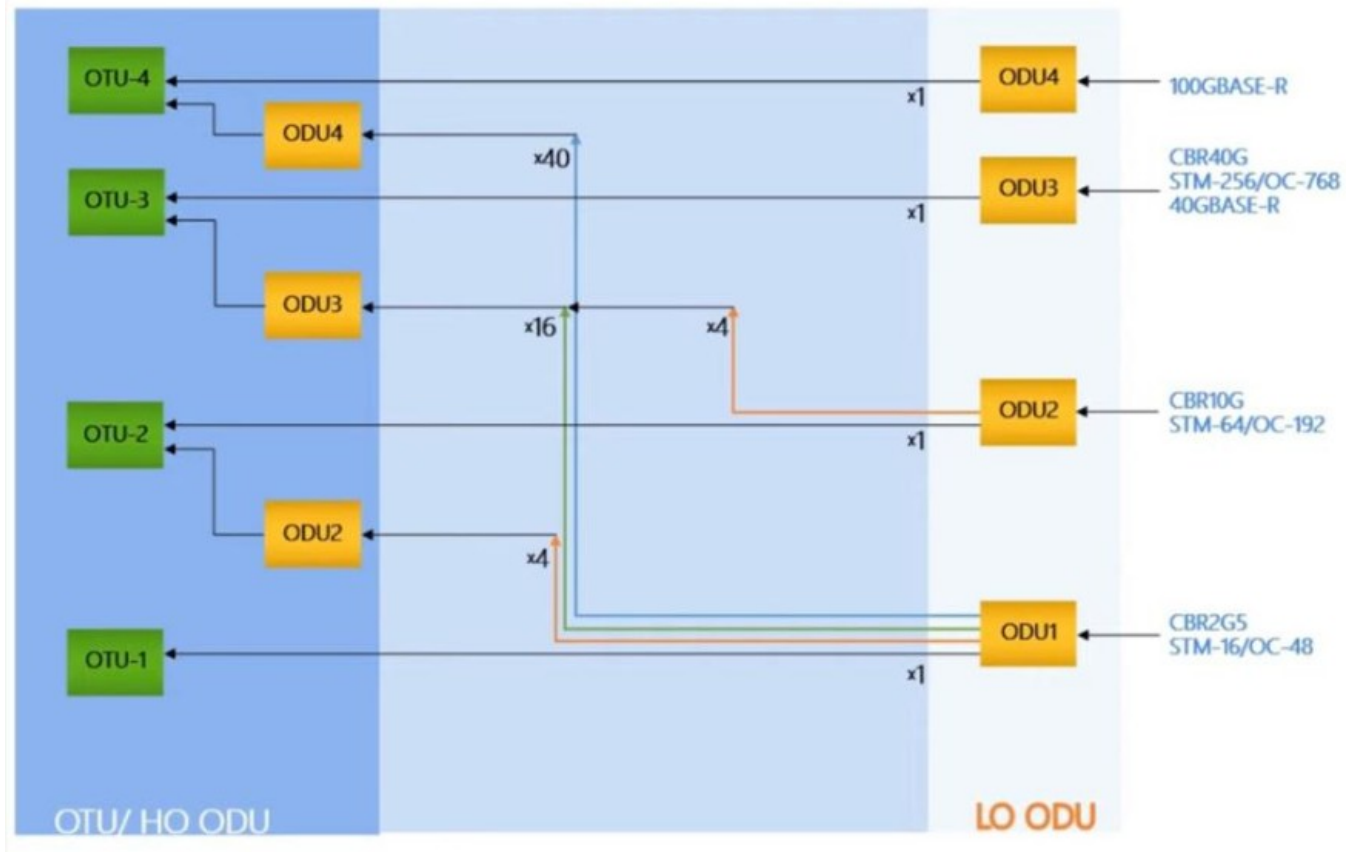
- [6]

OTN: multiplexação



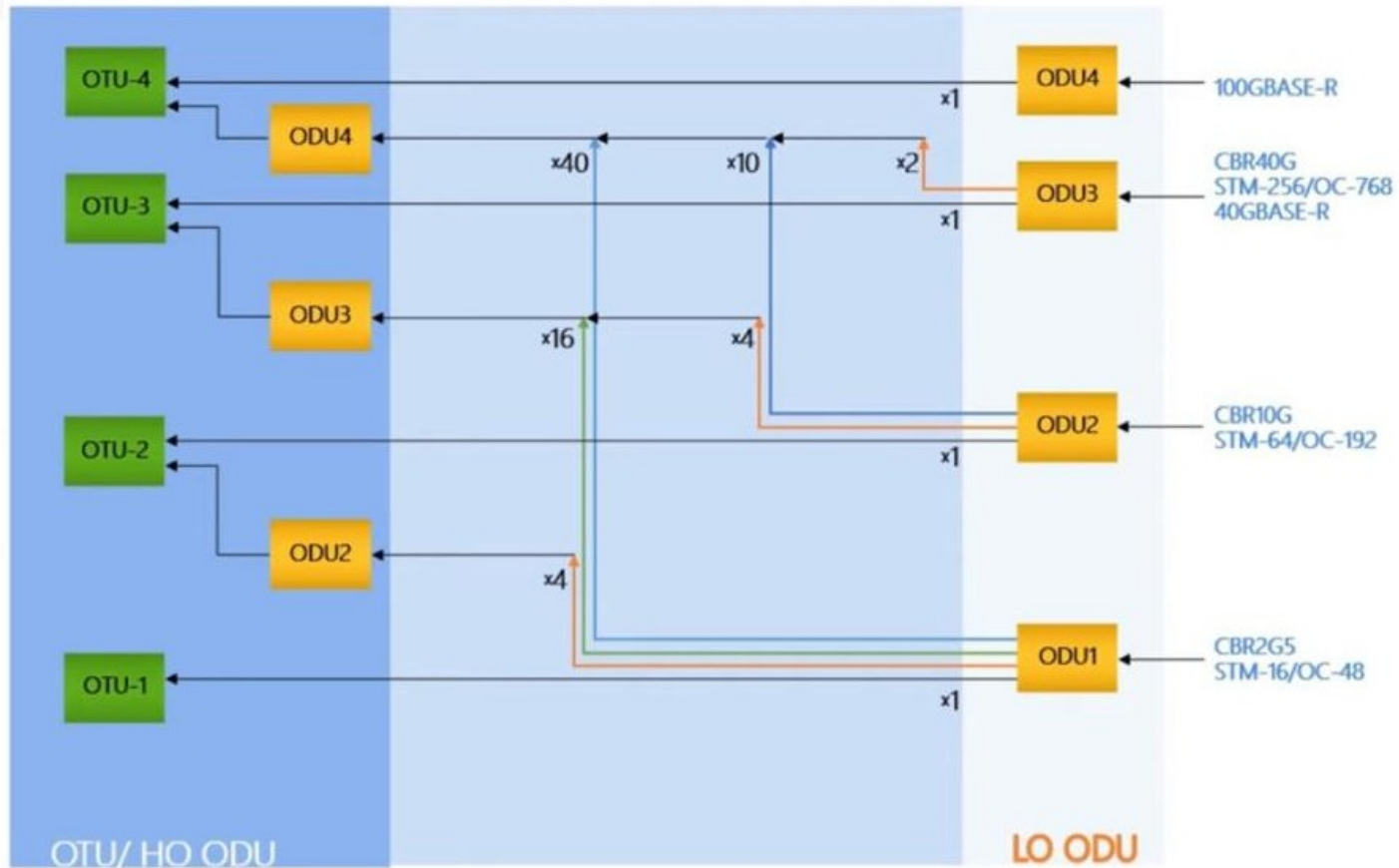
- [6]

OTN: multiplexação



- [6]

OTN: multiplexação



- [6]

Referências

- [1] Apostila IFSC Transmissão Digital
- [2] ITU G.709
- [3]
https://www.cisco.com/c/dam/global/de_at/assets/docs/dwdm.pdf
- [4] <https://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com15/otn/OTNtutorial.pdf>
- [5] <https://www.techonline.com/tech-papers/a-tutorial-on-itu-t-g-709-optical-transport-networks-otn/>
- [6] <https://www.youtube.com/watch?v=eh8NucgzfyU&t=302s>