

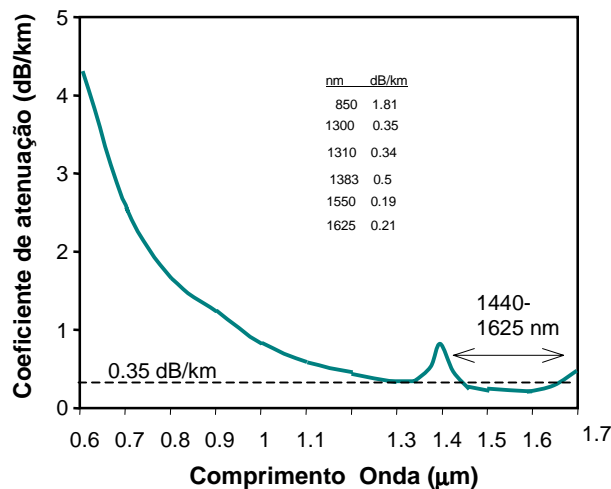
Redes de Telecomunicações

Redes Ópticas

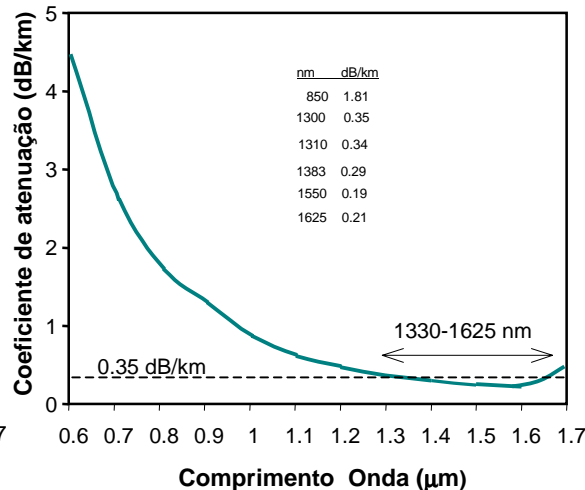
Fibras Ópticas

- As fibras ópticas dividem-se em fibras monomodais e fibras multimodais. Nas redes WDM só se usam fibras monomodais.
- Os principais fenómenos limitativos são a atenuação e a dispersão. O primeira é responsável por reduzir a amplitude dos pulsos e a segunda por alargá-los.

Fibra óptica monomodal normal



Fibra óptica monomodal "AllWave"



A fibra óptica monomodal normal apresenta um pico de atenuação devido à absorção OH em 1385 nm. A fibra "AllWave" elimina este pico.

Fibra Normal

A banda disponível para WDM (atenuação ≤ 0.35 dB/km) situa-se entre os 1440 e 1625 nm, o que corresponde a 370 canais para um espaçamento de 0.5 nm.

Fibra "AllWave"

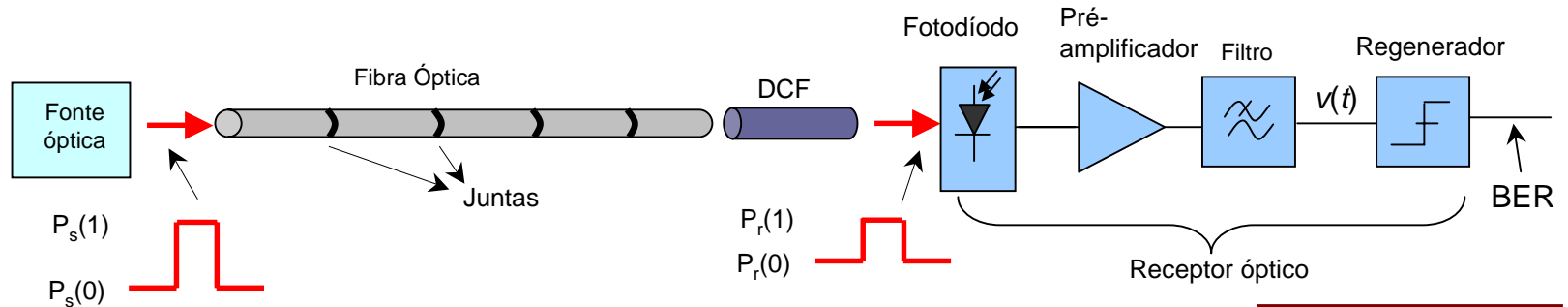
A banda disponível para WDM (atenuação ≤ 0.35 dB/km) situa-se entre os 1330 e 1625 nm, o que corresponde a 590 canais para um espaçamento de 0.5 nm.

Bandas de utilização das fibras

Janela	Designação	Banda (nm)	Tipo de fibra	Aplicações
Primeira	—	820-900	Multimodal	Tipo LAN
Segunda	O	1280-1350	Monomodal (G.652)	Mono $-\lambda$
Terceira	C	1528-1561	Monomodal (G.655)	Mono $-\lambda$ e WDM
Quarta	L	1561-1620	Monomodal (G.653)	WDM
Quinta	E	1350-1450	Monomodal (All Wave)	WDM
Sexta	S	1450-1528	Monomodal (G.652)	WDM e LAN

Transmissão digital óptica

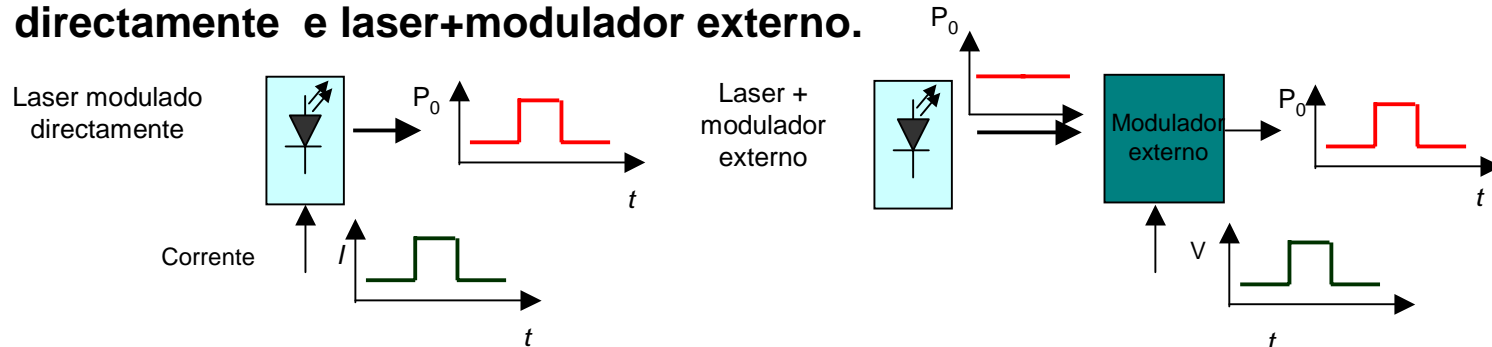
- Considera-se um sistema de transmissão digital óptico com compensação da dispersão, através de uma fibra compensadora de dispersão (DCF):



No receptor o sinal recebido é corrompido pelo ruído quântico e pelo ruído de circuito. O ruído total é caracterizado pelas variâncias σ_1^2 (símbolo 1) e σ_0^2 (símbolo 0).

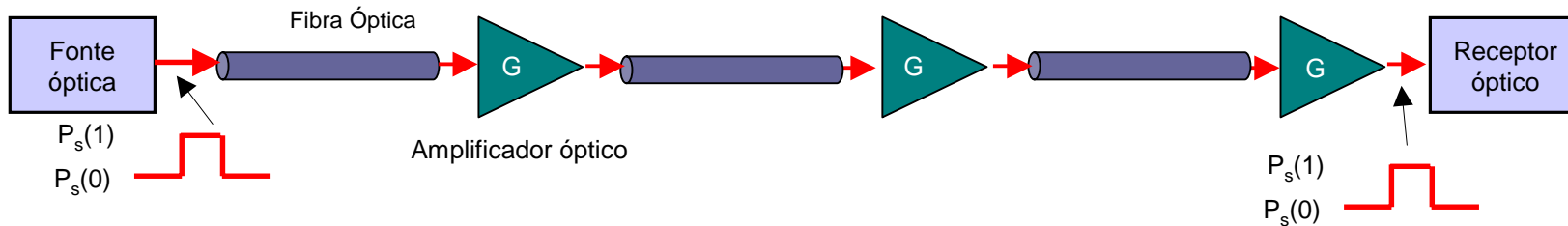
$$Q = \frac{V_1(t_0) - V_0(t_0)}{\sigma_1 + \sigma_0} \Rightarrow \text{BER} = \frac{1}{2} \text{erfc} \left[\frac{Q}{\sqrt{2}} \right]$$

- As fontes ópticas podem ser de três tipos: LED, Laser modulado directamente e laser+modulador externo.

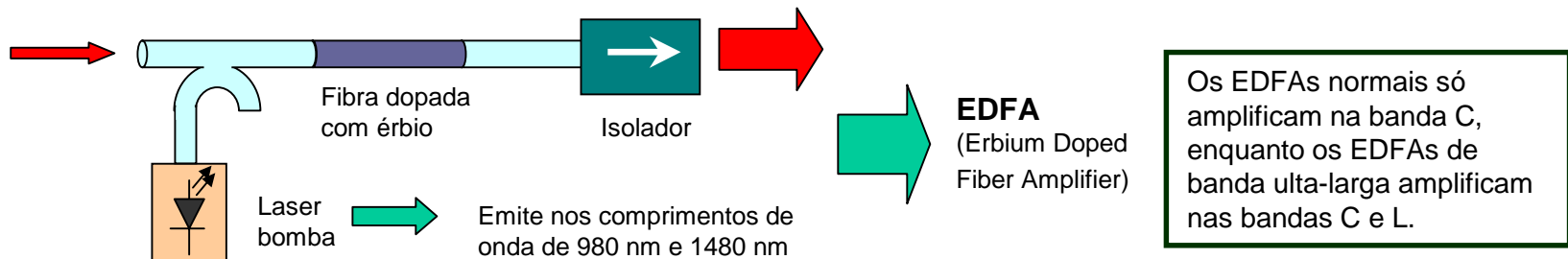


Sistemas com cadeias de amplificadores ópticos

- No estudo de sistemas com cadeias de amplificadores ópticos admite-se que quando o sistema não opera em saturação o ganho de cada amplificador compensa exactamente a atenuação do troço de fibra anterior.

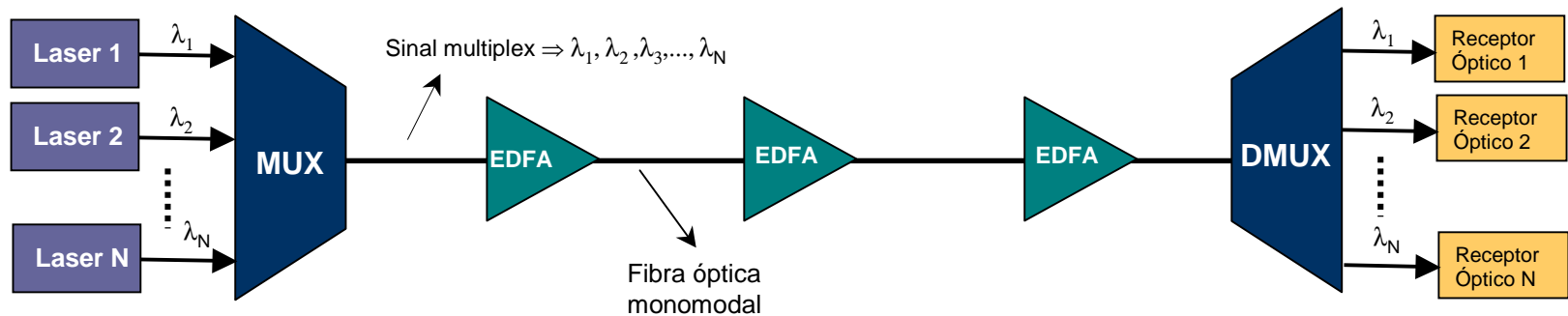


- Cada amplificador óptico para além de amplificar o sinal também vai introduzir ruído, designado por ruído de emissão espontânea.
- Os amplificadores ópticos mais usados usam como elemento de amplificação um troço de fibra dopada com érbio e como fonte energética um laser.



Sistema WDM ponto-a-ponto

- Os elementos essenciais de um sistema de multiplexagem por divisão no comprimento de onda ou WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) são os multiplexadores (MUX), responsáveis por agregar vários canais ópticos (comprimentos de onda) num único sinal multiplexado e os desmultiplexadores (DMUX) que realizam a operação inversa.

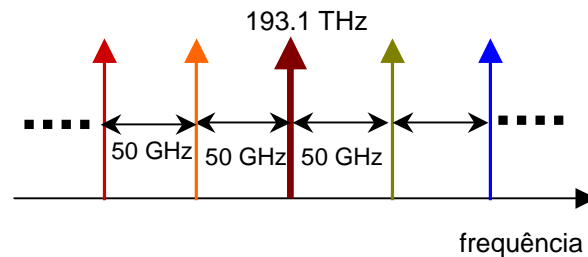


- Sistemas DWDM (Dense WDM) ponto-a-ponto comerciais de ponta

Fabricante	Equipamento	Capacidade	Número de λ s
Ciena	CoreStream	1.6 Tb/s	160 λ s \times 10 Gb/s 640 λ s \times 2.5 Gb/s
Lucent	LambdaXtreme	2.56 Tb/s 1.28 Tb/s	64 λ s \times 40 Gb/s 128 λ s \times 10 Gb/s
Nortel	OPTera Long Haul 5000	6.4 Tb/s	160 λ s \times 40 Gb/s
Siemens	TransXpress Infinity	1.6 Tb/s 3.2 Tb/s	160 λ s \times 10 Gb/s 80 λ s \times 40 Gb/s

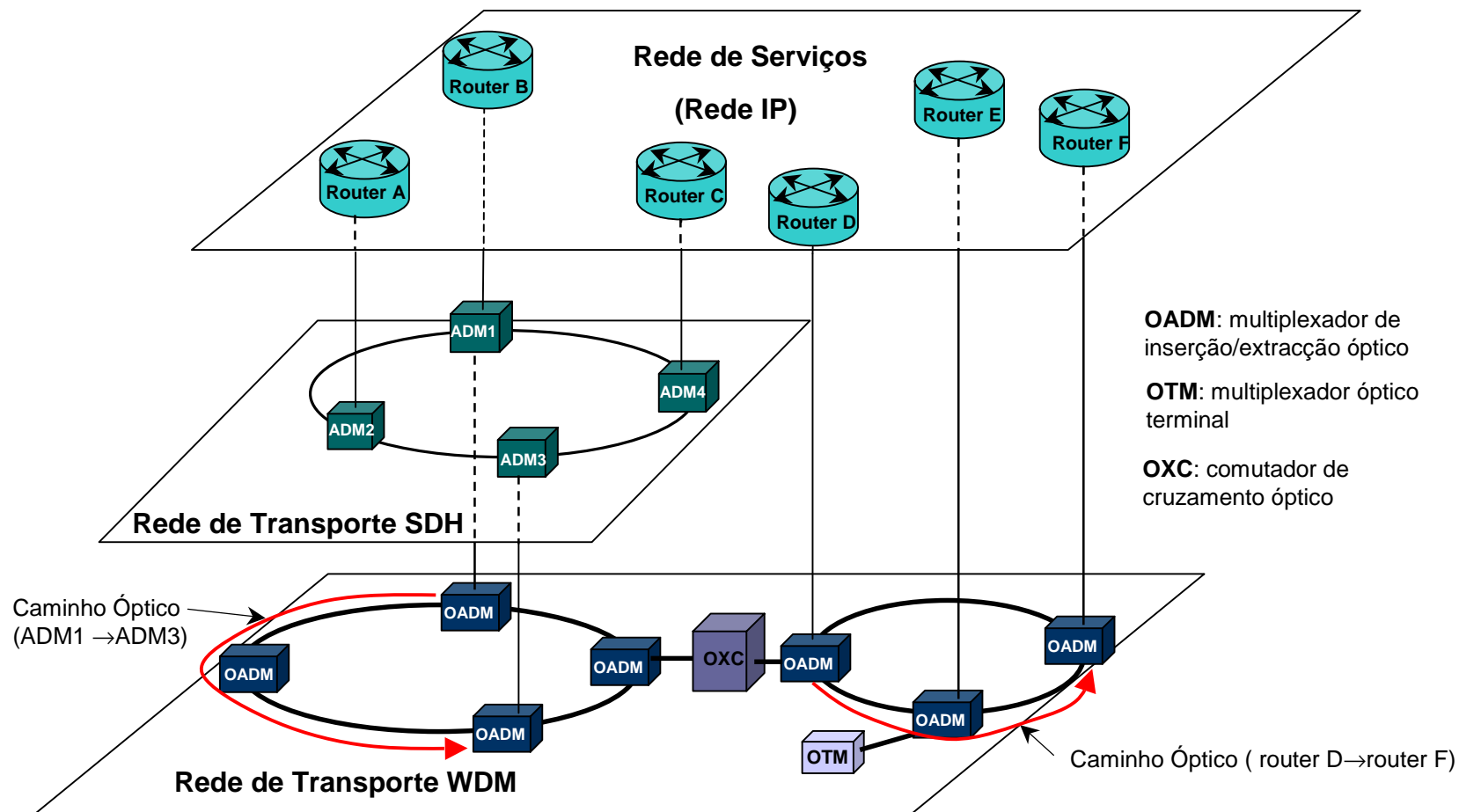
Normalização dos comprimentos de onda

- A normalização dos comprimentos de onda a usar nas redes WDM é importante para garantir a interligação de equipamentos de diferentes fabricantes e permitir aos fabricantes a redução dos custos de fabrico.
- A normalização de comprimento de onda é feita pela norma G.692 do ITU-T e usa um espaçamento idêntico na frequência para essa normalização. Os canais são colocados numa grelha de 50 GHz (≈ 0.4 nm), com a frequência central nominal de 193.1 THz (1552.52 nm).



- Outro parâmetro importante é o desvio máximo da frequência nominal de canal. Este desvio não deve ser muito elevado, caso contrário contribui para aumentar o *crosstalk* e as perdas. Para $\Delta f \geq 200$ GHz o ITU-T especificou um desvio máximo de $\pm \Delta f/5$.

O papel da rede de transporte WDM

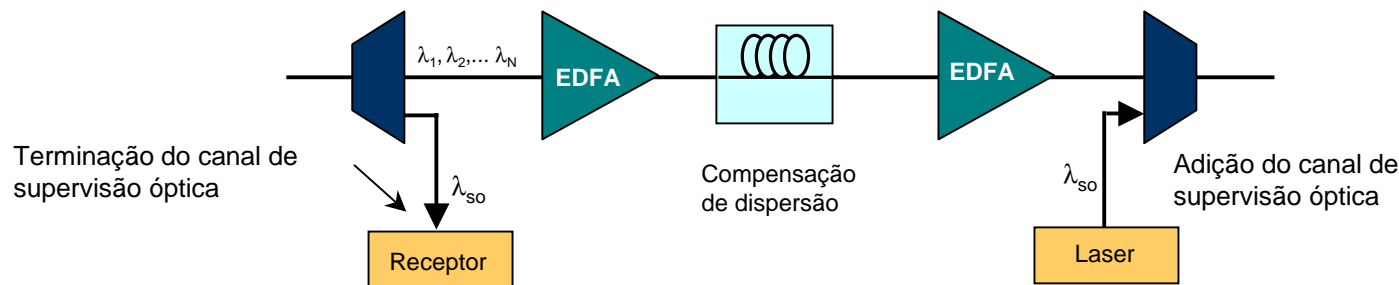


Características das redes de transporte WDM

- Uma rede de transporte WDM é constituída por amplificadores ópticos (OA, *optical amp.*), multiplexadores terminais ópticos (OTM, *optical terminal multiplexer*), multiplexadores de inserção/extracção (OADM, *optical add/drop multiplexers*) e comutadores de cruzamento (OXC, *optical crossconnects*) ligados por fibras ópticas.
- **Características mais salientes:**
 - Transparência:** Os caminhos ópticos podem transportar informação com diferentes débitos binários, diferentes formatos e diferentes protocolos. Por exemplo, podem-se estabelecer caminhos ópticos entre pares de elementos de rede SDH, ou pares de routers IP.
 - Sobrevivência:** A rede é estruturada de modo que em presença de falhas, os caminhos ópticos são reencaminhados automaticamente por percursos alternativos.
 - Reutilização de comprimentos de onda:** O mesmo comprimento de onda pode ser usado em diferentes caminhos desde que estes não tenham nenhuma via óptica (*link*) em comum. Tal permite estabelecer um número elevado de caminhos, com um número limitado de λ s.
 - Topologia lógica:** A topologia lógica consiste na topologia vista pelas camadas que fazem uso da camada óptica. Para uma rede de serviço IP, suportada pela rede de transporte WDM, os caminhos ópticos são vistos como ligações entre *routers* IP.
 - Comutação de caminhos:** Os caminhos ópticos oferecidos pela rede de transporte podem ser estabelecidos ou terminados por pedido através do sistema de gestão da rede. Uma vez estabelecidos permanecem activos durante períodos longos (meses ou mesmo anos).

Amplificadores ópticos de linha

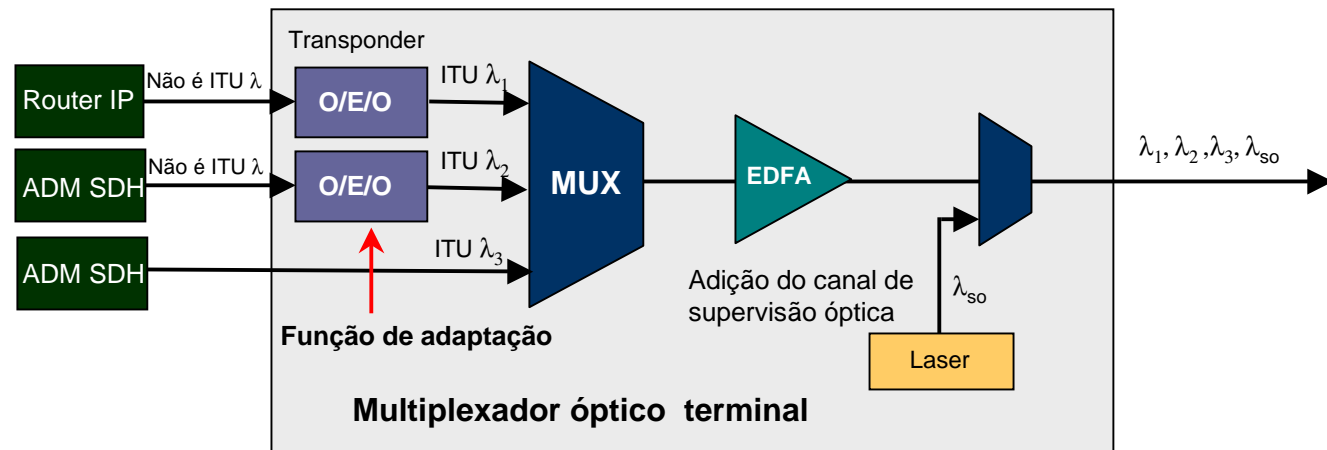
- Os amplificadores ópticos de linha são colocados no meio das vias ópticas, a intervalos periódicos, tipicamente entre 80-120 km.
- Estes amplificadores normalmente incluem dois blocos de amplificação EDFA, e um compensador de dispersão situado entre esses blocos. No caso dos amplificadores usados nas bandas C e L, essas bandas são separadas na entrada e usam-se diferentes EDFAs para cada banda.



- O canal de supervisão óptica é extraído e terminado na entrada do amplificador e é adicionado na saída. Este canal é usado para controlar e monitorizar o desempenho dos amplificadores ópticos. É transportado num comprimento de onda diferente do usado para o tráfego.

Multiplexador óptico terminal (OTM)

- O multiplexador óptico terminal é usado nas extremidades das ligações ponto-a-ponto para multiplexar e desmultiplexar diferentes comprimentos de onda. Inclui três elementos funcionais: transponder, multiplexador WDM e amplificador óptico.

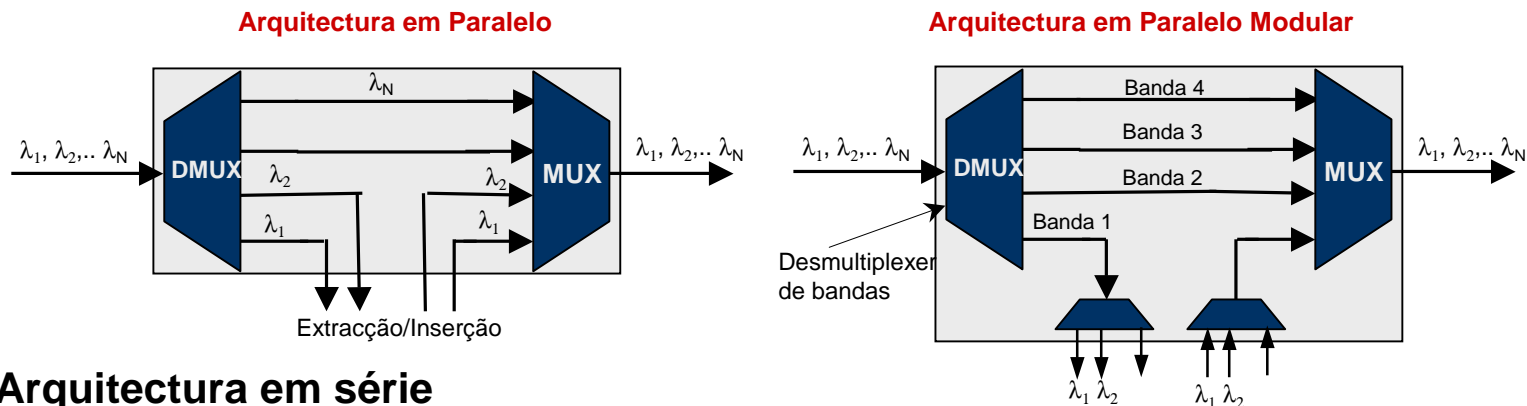


- A adaptação realizada pelos transponder corresponde às seguintes funções:
 - Alteração dos comprimentos de onda, de modo a ter na saída λ s ITU-T;
 - Adição de cabeçalhos para funções de gestão;
 - Adição de códigos FEC (*forward error correction*);
 - Monitorização do BER (*bit error rate*).

Arquitecturas de OADMs

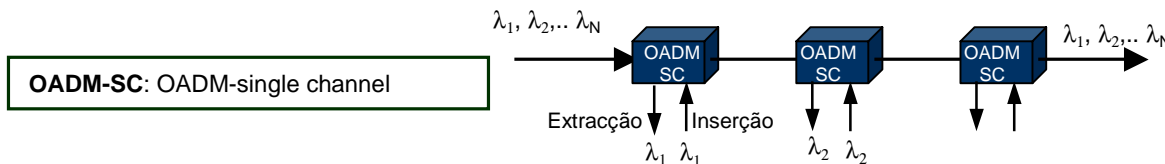
- Arquitetura em paralelo**

Todos os λ s são desmultiplexados, sendo alguns extraídos e outros transmitidos através do OADM. As perdas introduzidas pelo OADM são constantes e independentes do número de canais extraídos. Usa-se quando o número de canais a extrair é elevado.



- Arquitetura em série**

Nesta arquitetura cada OADM (OADM-SC) é usado para extrair/insertar um único canal. Para extrair vários canais é necessário usar vários OADM em série. As perdas aumentam com o número de canais. Usa-se quando o número de canais a extrair é reduzido.



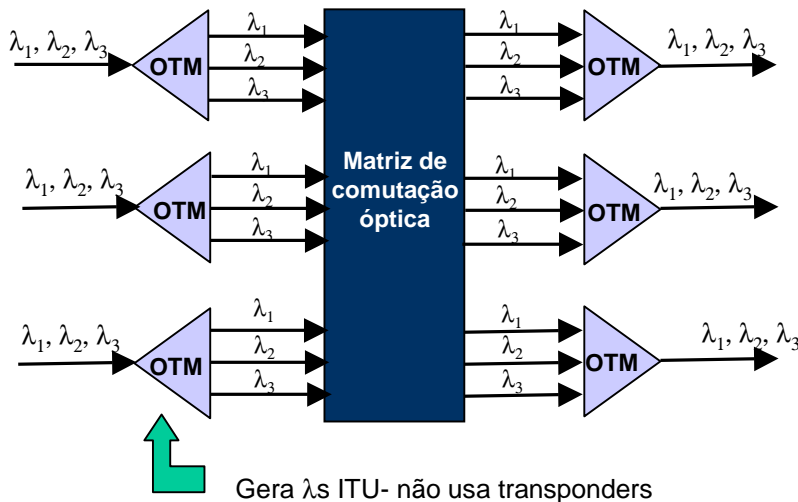
Comutadores de cruzamento

- Os comutadores de cruzamento ou OXC (optical cross-connects) são elementos de rede usados em topologias físicas em malha, enquanto os OADMs são usados normalmente em topologias em anel ou em cadeia.
- Os OXC também têm capacidades para processar um número muito elevado de λ s e permitem uma reconfiguração rápida da rede. Outras funções:
 - Provisão de serviços:** Permite estabelecer e terminal caminhos ópticos de modo automático.
 - Protecção:** Permite detectar falhas na rede e reencaminhar os caminhos de modo a ultrapassar essas falhas.
 - Monitorização e processamento de cabeçalhos:** Permite monitorizar certos parâmetros dos sinais transmitidos com vista a medir o desempenho e detectar falhas e processar cabeçalhos associados a diferentes camadas de rede.
 - Comutação espacial:** Permite comutar sinais de portos (fibras) de entrada para portos (fibras) de saída.
 - Conversão de comprimentos de onda:** Permite comutar sinais de λ s de entrada para λ s de saída.
 - Funções adicionais:** Compensação de dispersão, controlo do nível de potência, etc.

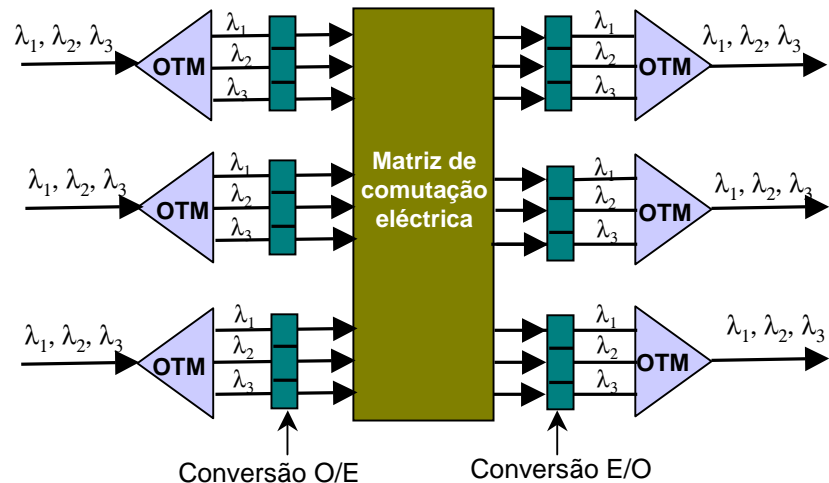
Configurações de OXCs

- A configuração de um OXC pode ser opaca ou transparente. Nas configurações opacas há conversões O/E ou E/O dentro do OXC, enquanto nas transparentes a configuração é totalmente óptica.
- Um OXC é constituído por vários OTMs, que realizem entre outras as funções de multiplexagem/desmultiplexagem, e por uma matriz de comutação. A matriz de comutação pode ser óptica ou eléctrica.

OXC com comutação óptica

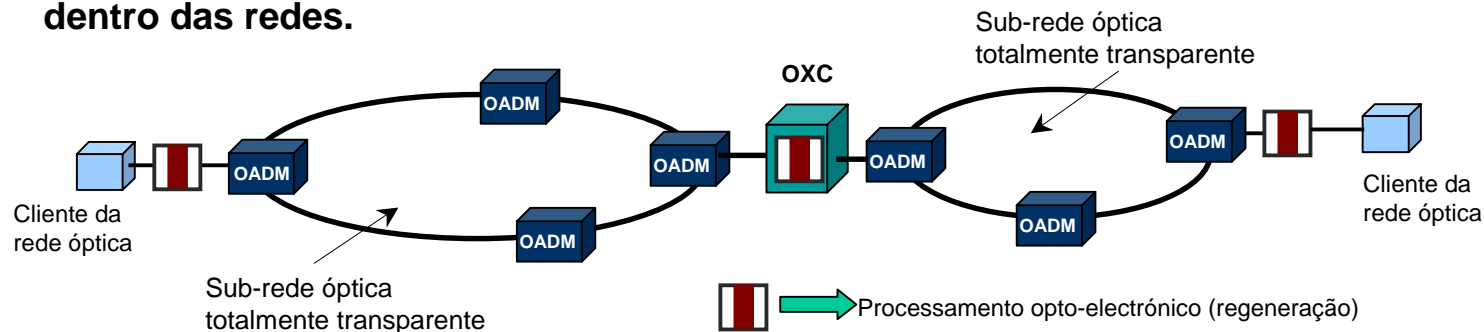


OXC com comutação eléctrica



Transparência das redes ópticas

- Uma das grandes vantagens da redes ópticas é ser **transparente aos serviços**. O utilizador pode enviar informação digital a qualquer débito (dentro de certos limites), usando qualquer formato, ou qualquer tipo de protocolo. Pode também transmitir informação analógica.
- Associada à transparência está o conceito de rede totalmente óptica. Nesta rede a informação é transmitida da fonte para o destino num formato óptico, sem qualquer conversão O/E, ou E/O dentro da rede. Estas redes designam-se por **totalmente transparentes**.
- Estas rede totalmente transparentes não usam regeneração e por isso comportam-se como rede analógicas onde os factores degradadores (ruído, distorção, interferência, etc) são acumulados, o que limita a sua extensão. Enquanto não for possível dispor de regeneradores ópticos será de esperar a existência de alguma conversão opto-electrónica dentro das redes.

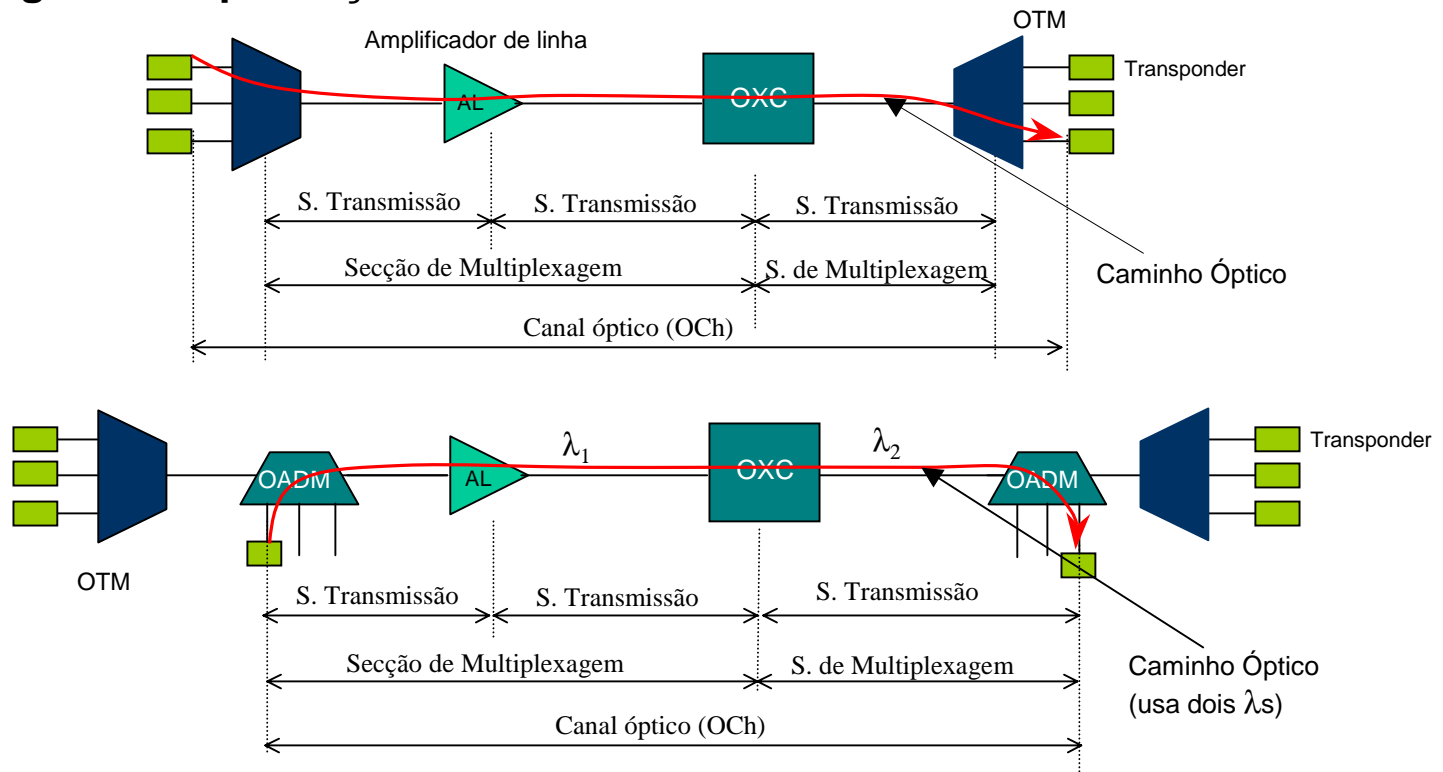


Modelo de camadas da rede de transporte WDM

- A rede de transporte óptica é composta por três camadas, situadas por baixo da camada de secção de regeneração do SDH. Essas camadas são: camada de canal óptico (OCh, *optical channel layer*), camada de secção de multiplexagem óptica (OMS, *optical multiplex section layer*) e camada de secção de transmissão óptica (OTS, *optical transmission section layer*) .
- Funcionalidades das camadas:
 - Camada de canal óptico:**
Verificação da integridade do canal (traço do canal), comutação de protecção de canal, monitorização de desempenho e gestão de falhas (FDI, *forward defect indicator* e BDI, *backward defect indicator*).
 - Camada de secção de multiplexagem óptica:**
Multiplexagem óptica, atribuição de comprimento de onda, identificação do comprimento de onda, comutação de protecção de multiplexagem, e gestão de falhas.
 - Camada de secção de transmissão óptica:**
Controlo dos amplificadores ópticos, compensação de dispersão através dos amplificadores de linha, verificação da integridade da secção e gestão de falhas.

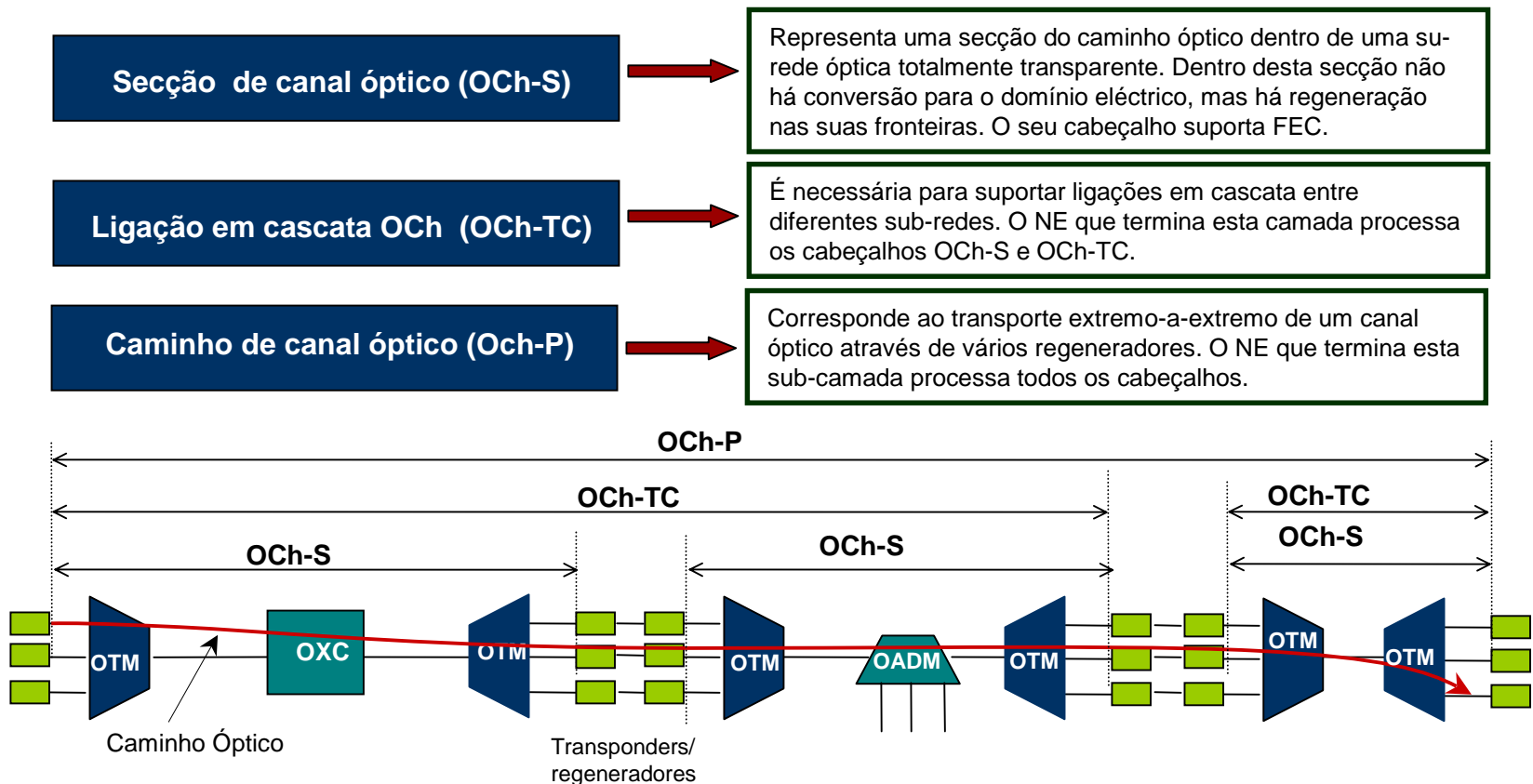
Camadas nas redes totalmente transparentes

- O canal óptico (OCh) corresponde a uma ligação extremo a extremo, também designada por caminho óptico. Cada via entre um OTM e um OADM (ou OXC) corresponde à secção de multiplexagem óptica (OMS). Cada via OMS é constituída por vários segmentos (OTS), sendo cada segmento delimitado por um estágio de amplificação.



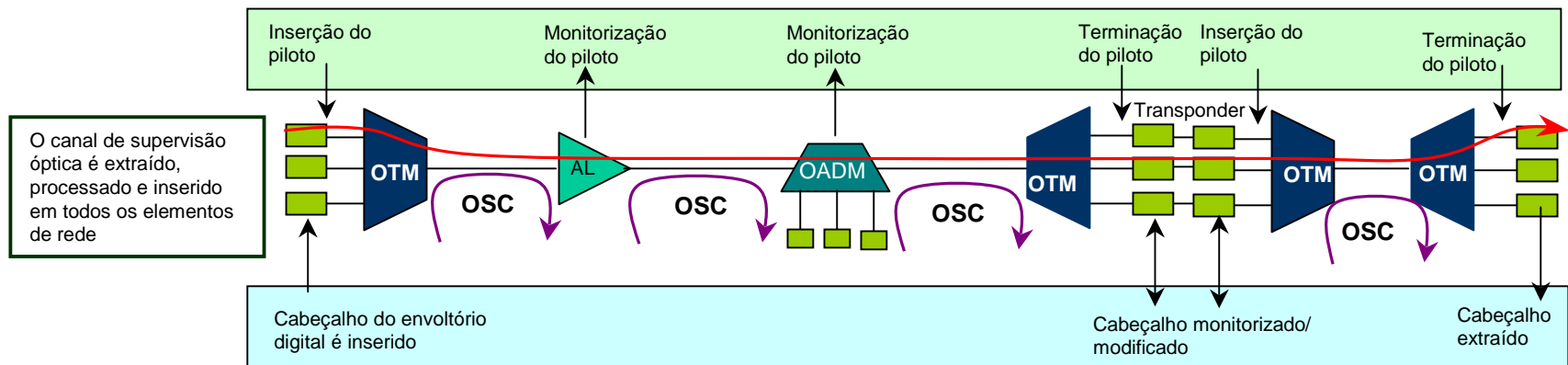
Subdivisão da camada da canal óptico

- O canal óptico (OCh) por sua vez é subdividido em várias sub-camadas: sub-camada de secção (OCh-S), sub-camada de ligação em cascata (OCh-TC, *Tandem Connection*) e sub-camada de caminho (OCh-P, *Path*).



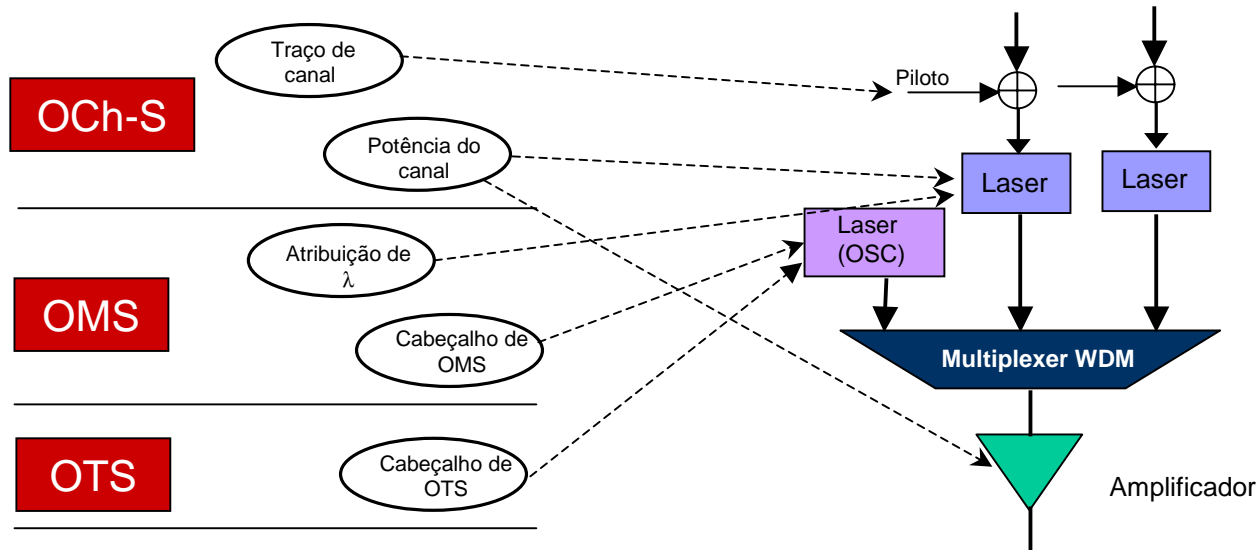
Transmissão de cabeçalhos

- Os cabeçalhos associados às camadas OTM e OMS são transmitidos no canal de supervisão óptica (OSC, *optical supervisory channel*), normalizado pelo ITU-T para ser transmitido no comprimento de onda de 1510 nm.
- Os cabeçalhos do canal óptico podem ser transmitidos em modo associado ao canal. Há duas técnicas para transmissão em modo associado: **modulação de sub-portadora e envoltório digital**.
- Por exemplo para transmitir o **identificador de canal óptico (traço de canal OCh-S)**, usando a primeira técnica adiciona-se uma sub-portadora, designado por piloto, ao sinal que modula o laser. Esse piloto tem uma frequência, normalmente na banda entre 1 e 2 MHz. O piloto pode ser também usado para monitorizar a potência óptica do canal.



Equipamento versus camadas ópticas

- Exemplo da relação entre algumas funções das camadas ópticas e o equipamento terminal WDM.



- Função dos cabeçalhos:**

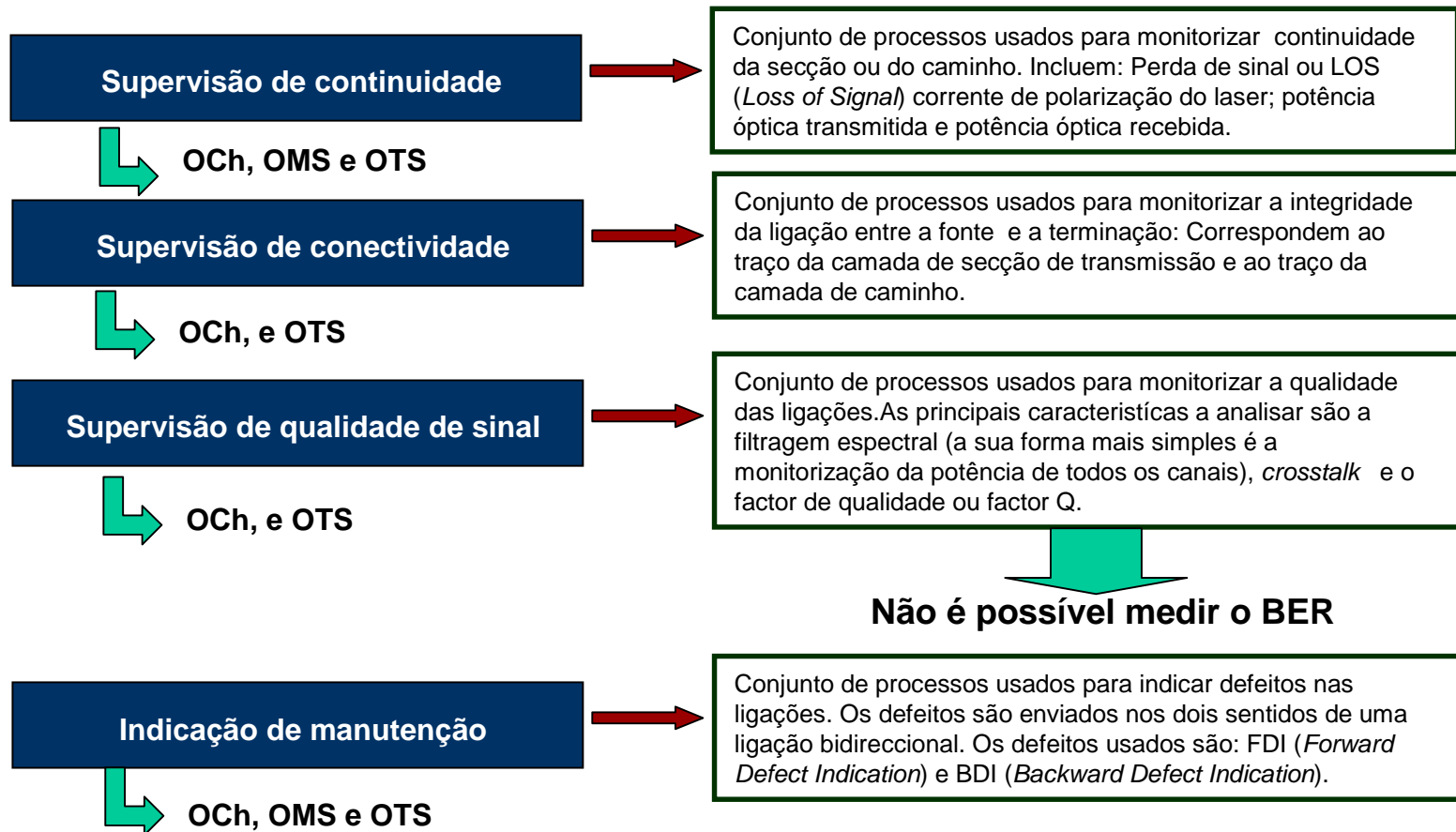
OCh: Fixação da potência emitida e monitorização da recebida, alarmes (perda de sinal).

OMS: Monitorização e configuração de equipamento (nível de sinal, frequência dos canais demux, selecção dos canais inseridos/extraídos, etc), alarmes, informação de protecção.

OTS: Identificação do amplificador, controlo do amplificador (ganho, potência da bomba), controlo da compensação de dispersão e dos comutadores de protecção, alarmes, etc.

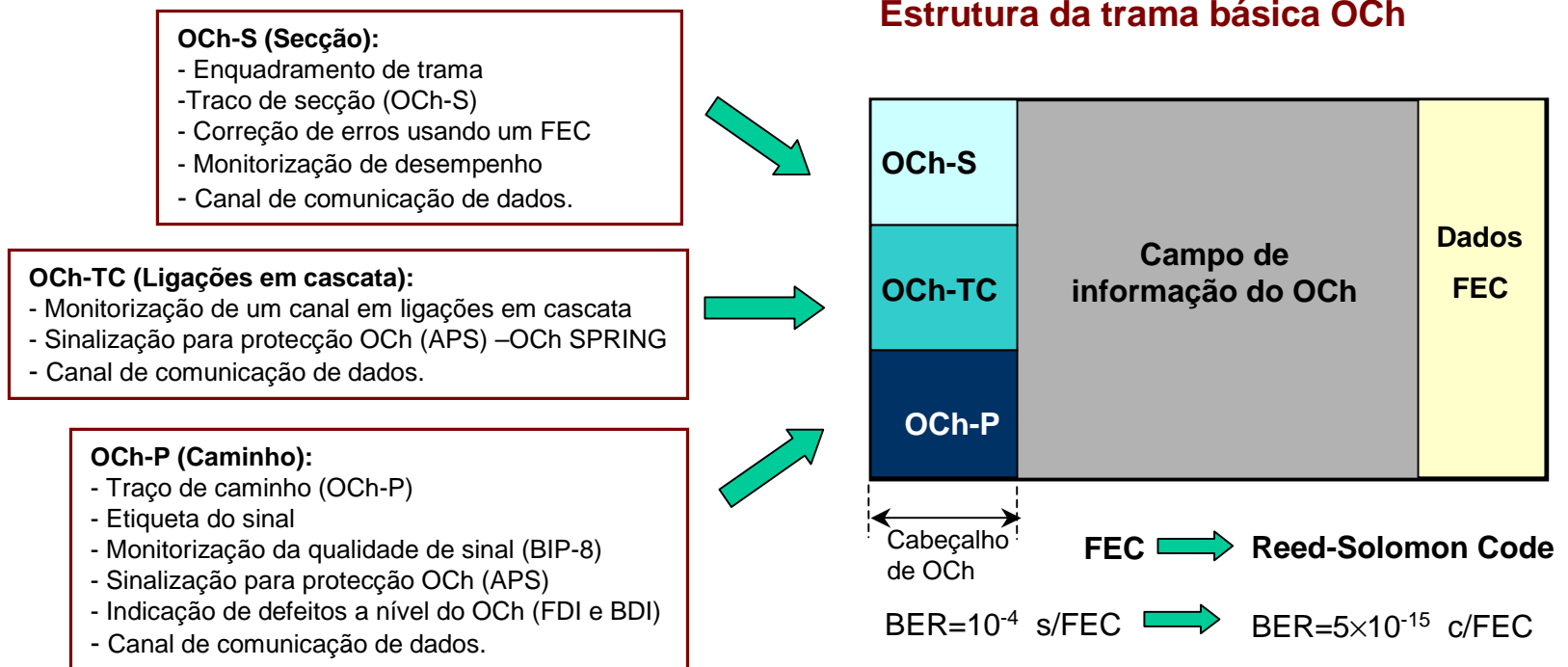
Indicadores de desempenho

- Os indicadores de desempenho usados a nível dos cabeçalhos OTS,OMS e OCh-S são os seguintes (ANSI T1X1.5/99-071):



Envoltório Digital (ANSI T1X1.5/99-146)

- O envoltório digital (digital Wrapper) consiste em adicionar um certo número de octetos de cabeçalho de OCh, quando o sinal entra na camada óptica e remover esses octetos quando o sinal é devolvido à camada de serviço. Alguns desse octetos são usados para proporcionar capacidade de correcção de erros usando FECs (Forward Error Correction).

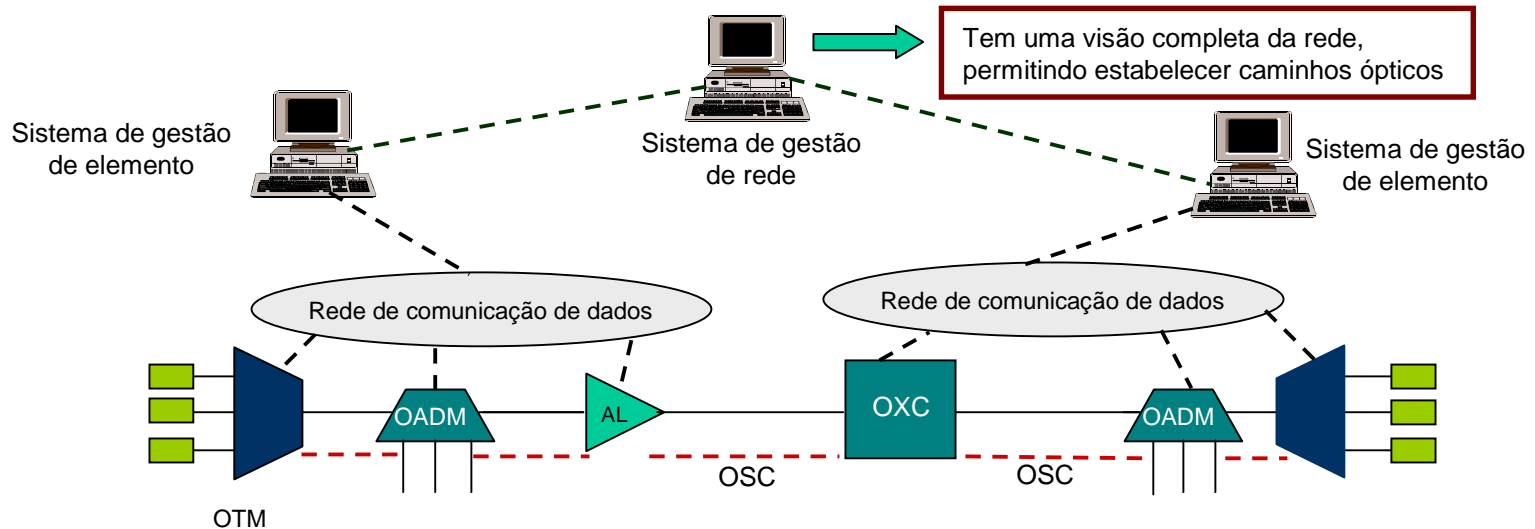


Protecção e restauro ópticos

- A protecção óptica pode ser linear ou de anel. Qualquer uma destas protecções pode ser dedicada (1+1), ou partilhada (1:1).
- A protecção linear é aplicada em ligações ponto-a-ponto. Essa protecção pode ser realizada a nível de canal óptico (protecção OCh), ou a nível de secção de multiplexagem óptica (protecção OMS). A protecção OCh protege os canais ópticos (comprimentos de onda) individualmente, enquanto a protecção OMS protege o sinal WDM.
- A protecção de anel aplica-se a topologias físicas em anel e também pode ser realizada a nível OCh, ou OMS. Os anéis podem usar duas ou quatro fibras como no caso da protecção a nível da SDH.
- O restauro óptico aplica-se a redes com uma topologia física em malha e consiste em encontrar caminhos ópticos alternativos aos caminhos com falhas, sendo a operação coordenada pelo centro de gestão de rede.

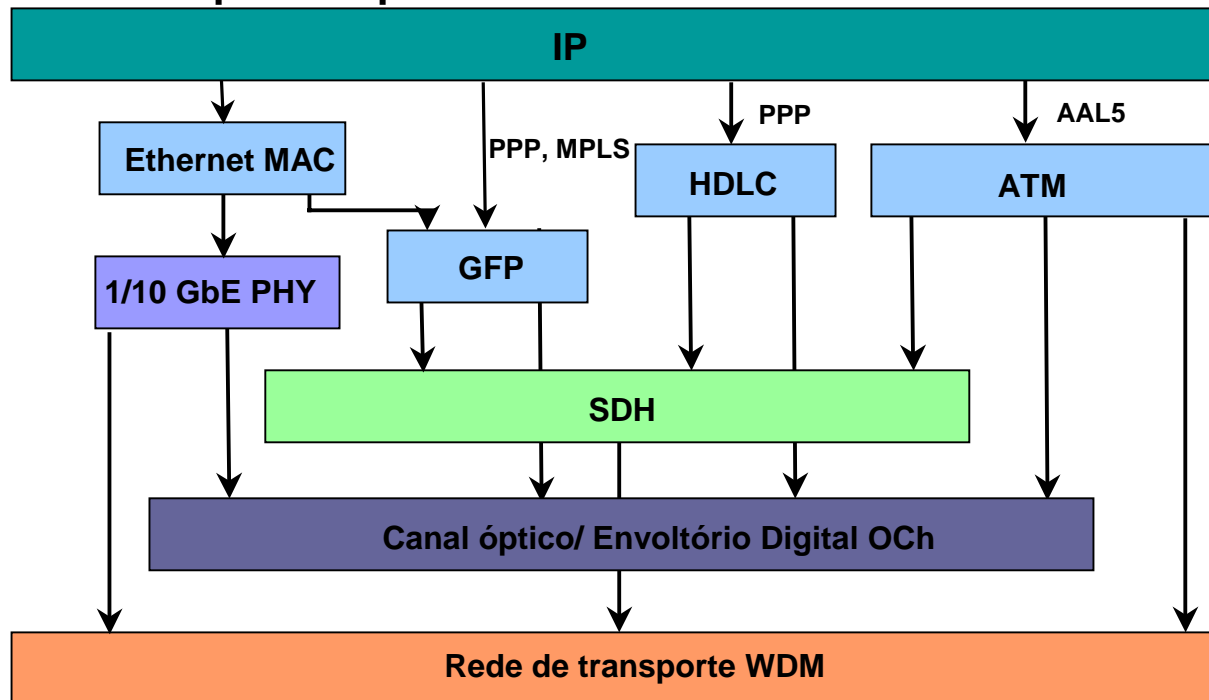
Aspectos de gestão

- Os diferentes elementos a gerir (amplificadores ópticos, OTMs, OADMs e OXCs) designam-se por elementos de rede (NE). Cada elemento de rede é gerido pelo seu sistema de gestão de elemento ou EMS (*element management system*). A informação de gestão é processada em cada NE, pelo agente (software implementado num microprocessador), o qual comunica com o EMS. Um EMS pode gerir um ou mais elementos de rede.
- A comunicação do EMS com os elementos de rede é feita através da rede de comunicação de dados ou DCN (*data communication network*). O DCN pode ser transmitido pelo canal de supervisão óptica. Os diferentes EMS comunicam com o sistema de gestão de rede, através da rede de gestão (rede IP).



IP sobre WDM

- O IP (Internet Protocol) pode ser transportado sobre uma grande variedade de protocolos da camada de ligação lógica (camada 2 do OSI) e de infraestruturas da camada física. Apresentam-se algumas configurações usadas para mapear o IP sobre o WDM.



PPP: *Point-to-point protocol*

HDLC: *High-level Data Link control*

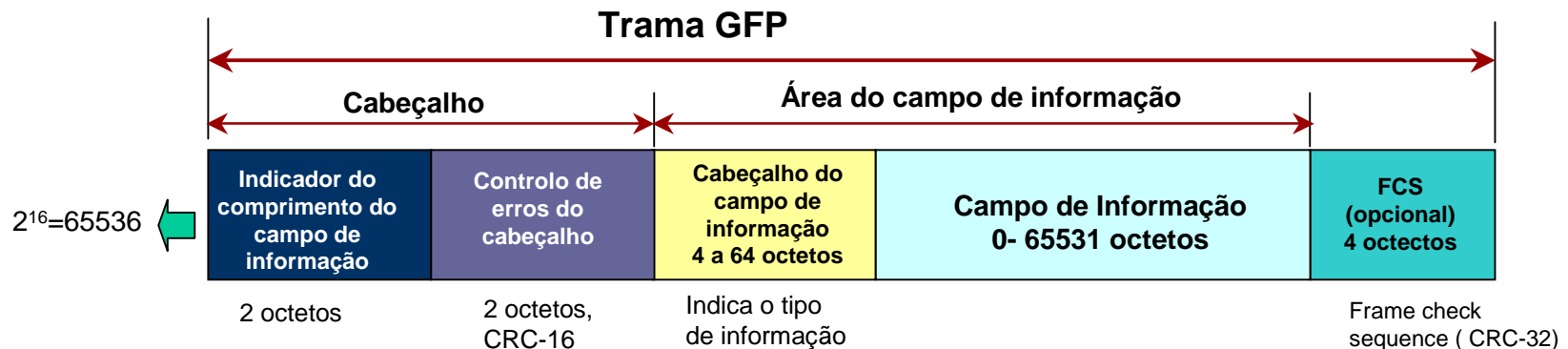
PHY: *Physical Layer Protocol*

1/10 GbE: 1 ou 10 Gigabit Ethernet

MPLS: *Multiprotocol Label switching*

Generic Framing Procedure

- **Generic Framing Procedure (GFP)** é um protocolo usado para transportar tráfego de pacotes de débito fixo ou variável sobre um canal de comunicação genérico de alto débito (ITU-T G7041/Y.1003, 2001). (Ref: E. Valencia et al, The Generic Framing Procedure: An Overview, IEEE Com. Magazine, Maio 2002.)
- As tramas GFP são delimitadas usando um procedimento baseado no HEC (*header error control*) semelhante ao usado no ATM, que é diferente do usado no HDLC que é baseado em *flags*.
- A trama GFP suporta o encapsulamento completo dos pacotes IP evitando a operação de segmentação /agregação do ATM.
- Os mecanismos de protecção de cabeçalho e do campo de informação são independentes.



IP sobre SDH

- A primeira fase do processo de transmissão de IP sobre SDH consiste em encapsular os datagramas IP em pacotes PPP (*Point-to-Point Protocol*). Este protocolo é usado para transmitir vários protocolos (incluindo IP) sobre linhas alugadas ou linhas comutadas.
- Os datagramas IP encapsulados em PPP são em seguida estruturados numa trama usando HDLC (*High-Level Data Link Control*). A principal função do HDLC consiste em delimitar os pacotes PPP, usando para isso um padrão definido (*flags*). As tramas formadas são em seguida transmitidas num VC-4.

Formato de um datagrama IP usando PPP/HDLC

