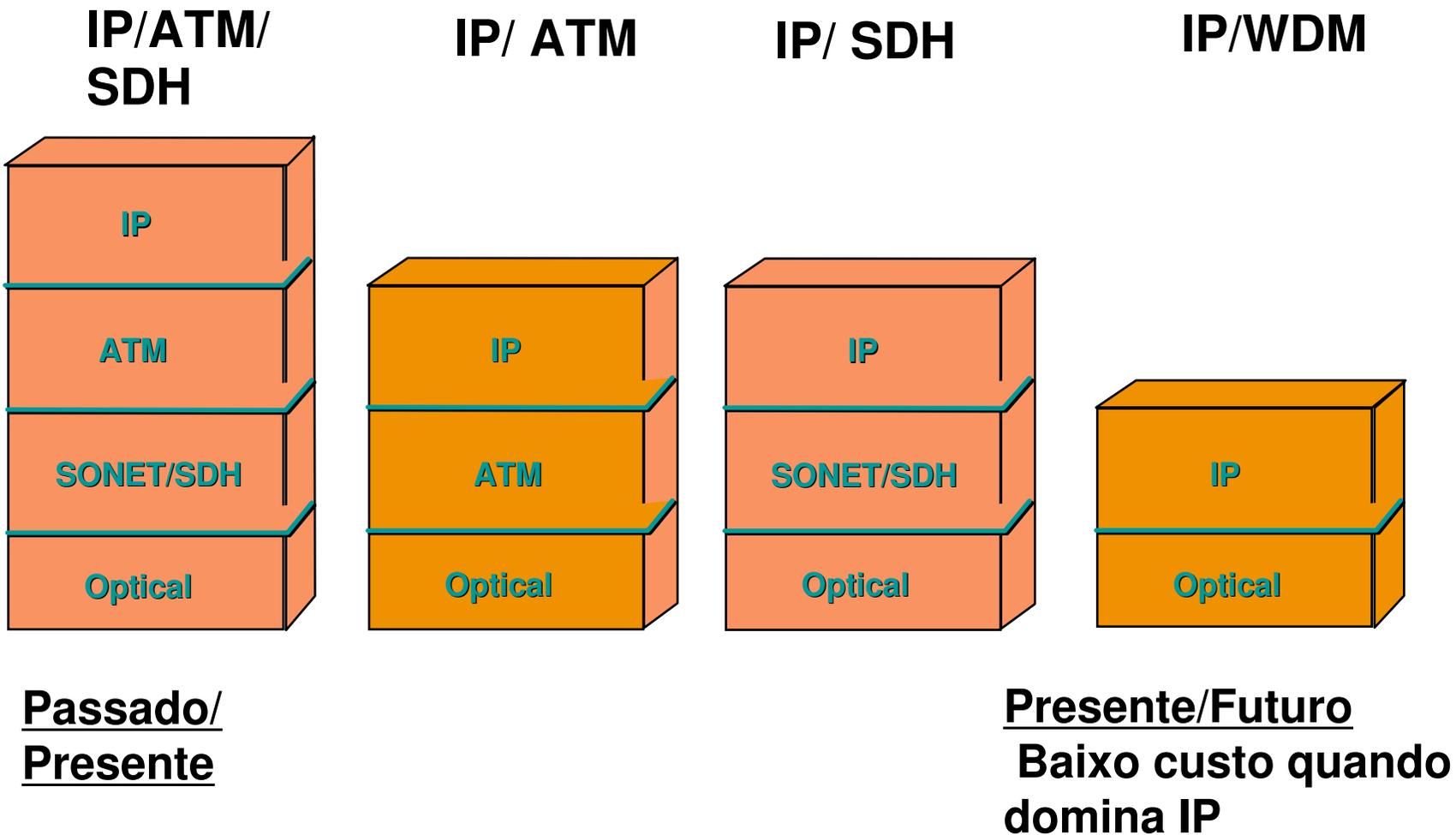


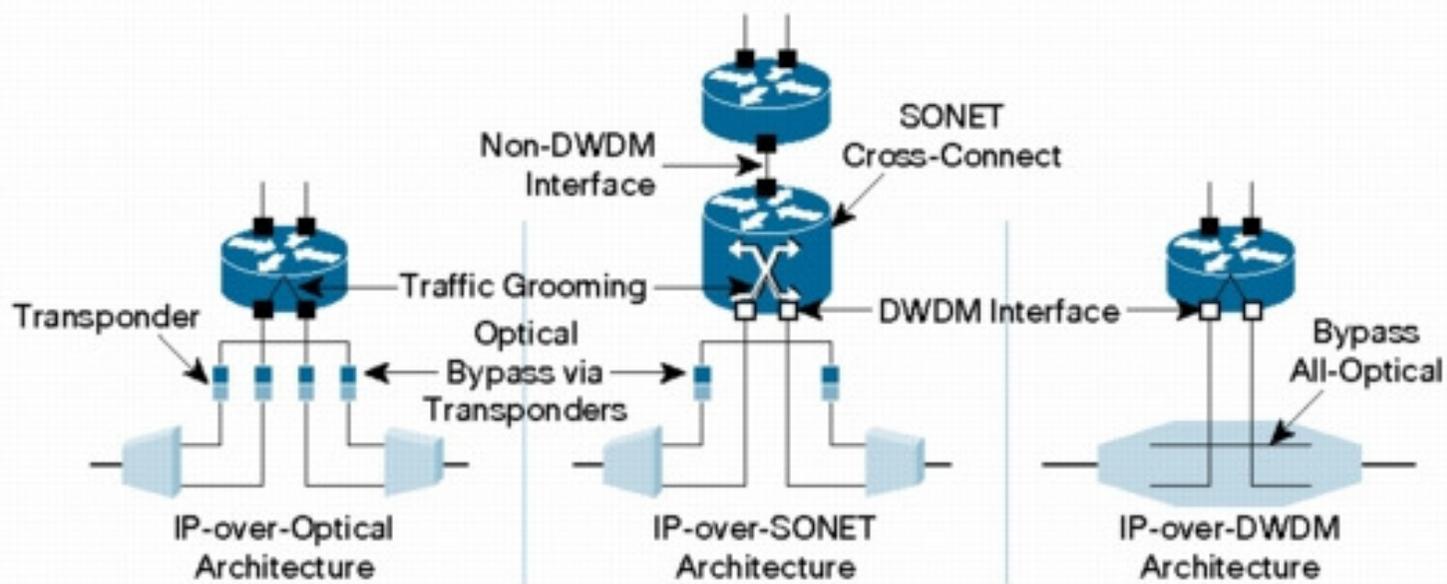
Redes de Telecomunicações

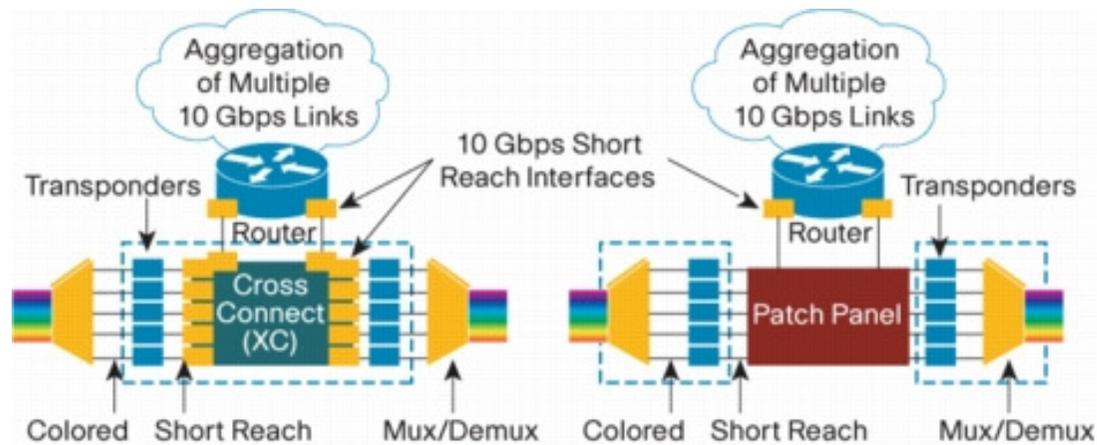
IP sobre WDM

2006-2007

Redes Ópticas: visão das camadas



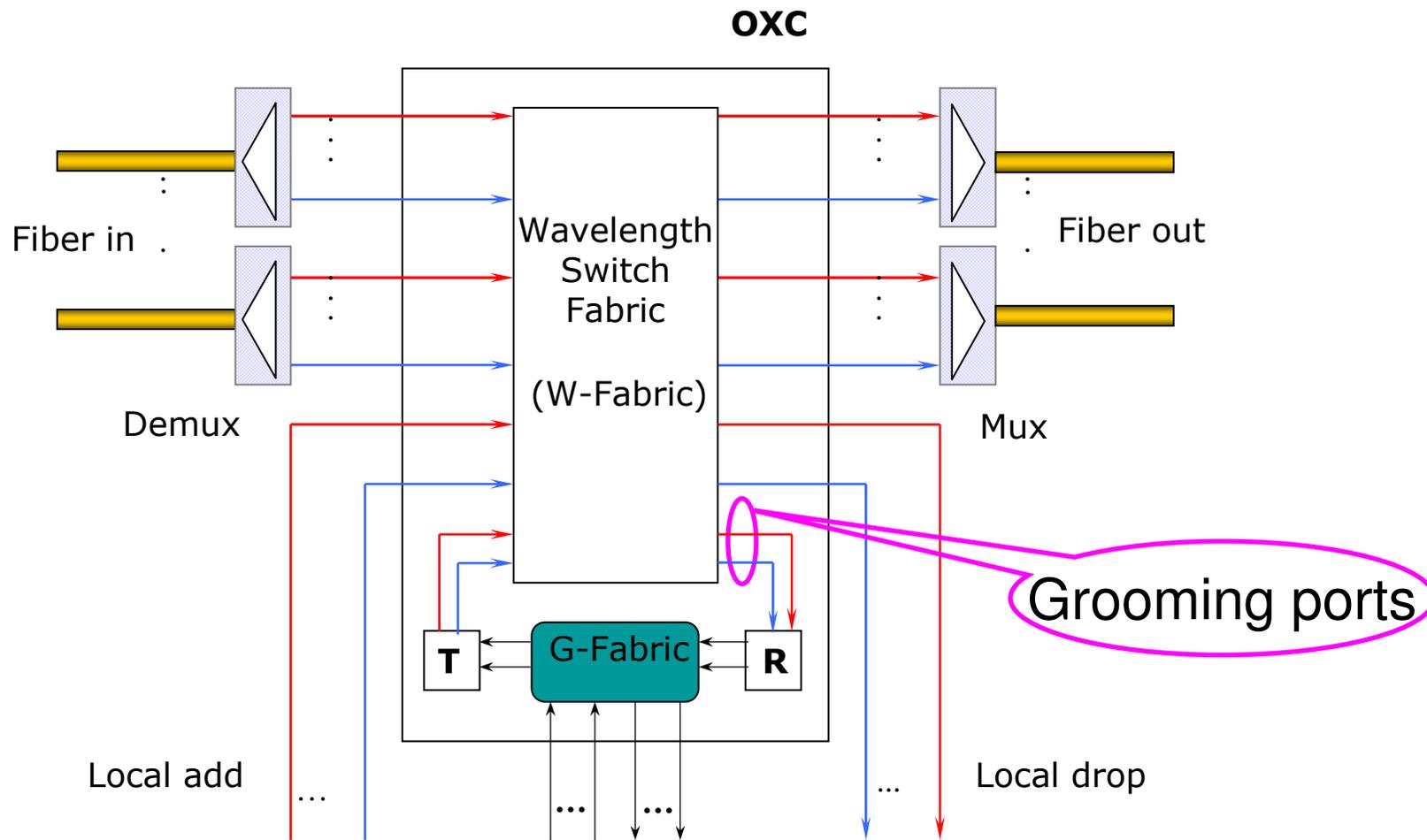




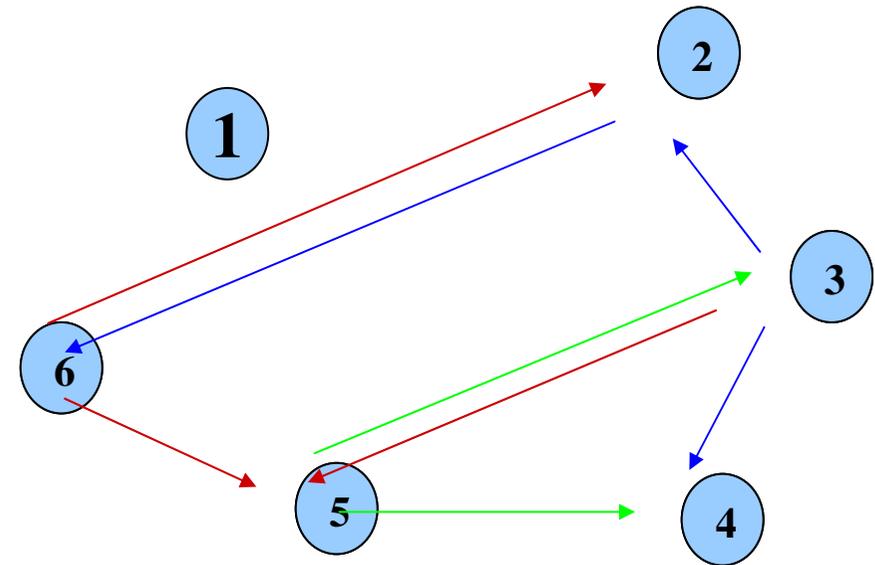
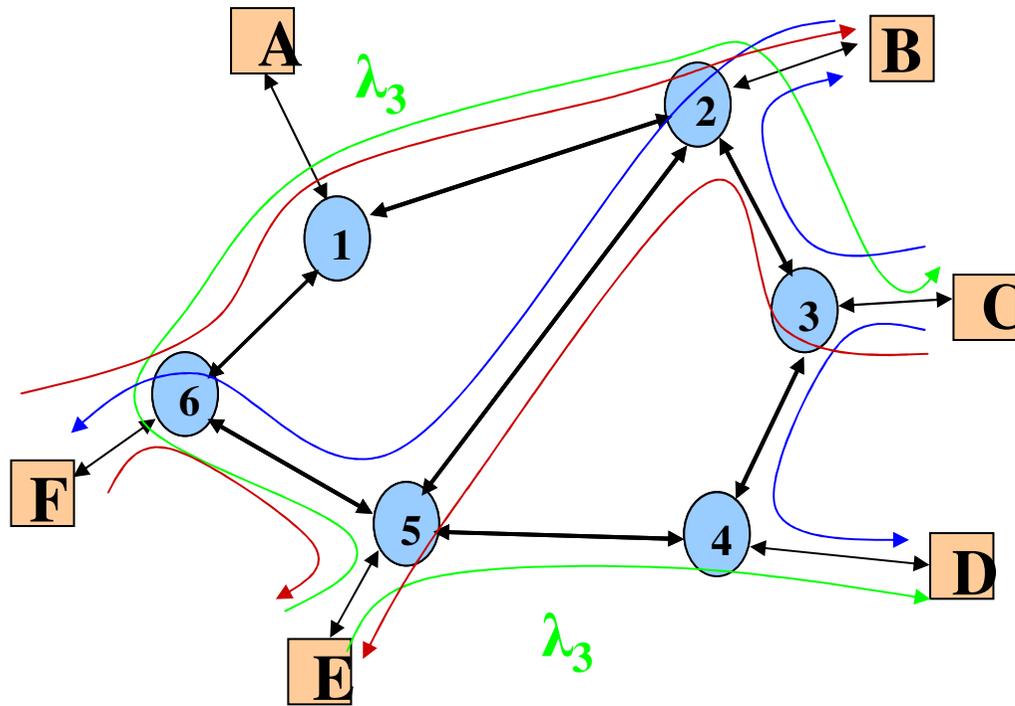
Cross connect implementation showing four 10 Gbps wavelengths passing through a POP and two wavelengths terminating on a router.

Same scenario using a patch panel implementation in order to save on cross connect and associated short reach optics costs.

Grooming-Switch



Programando correctamente o OXC é possível criar um caminho transparente entre dois nós da rede.



a) Atribuição dos λ_s

b) Topologia lógica

Só se justifica quando a intensidade de tráfego entre dois nós é significativa. Existe um compromisso entre largura de banda desperdiçada e interfaces de grooming.

Figure 2. CapEx Savings as a Function of Offered Load in a European Network

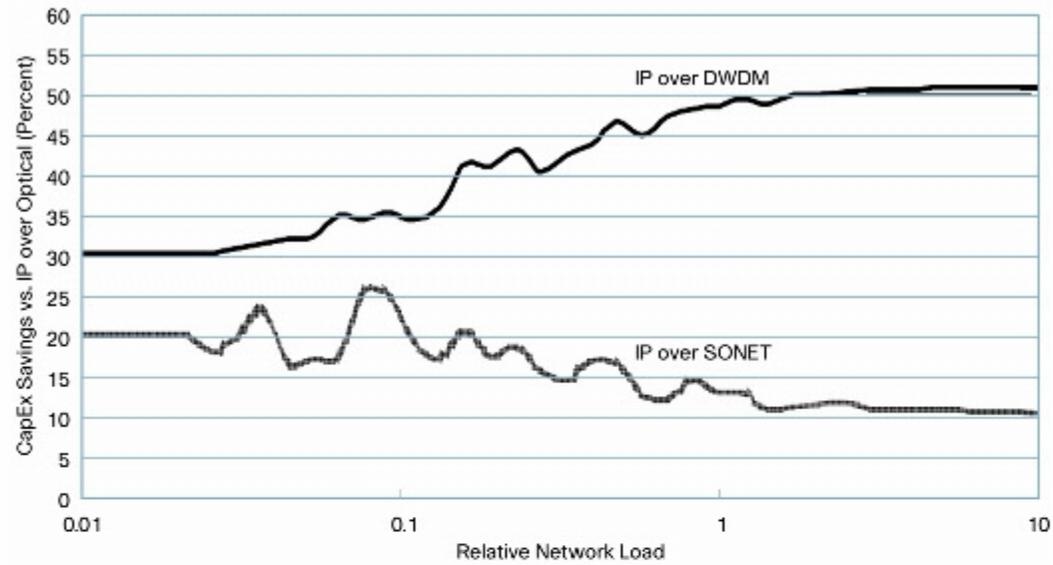
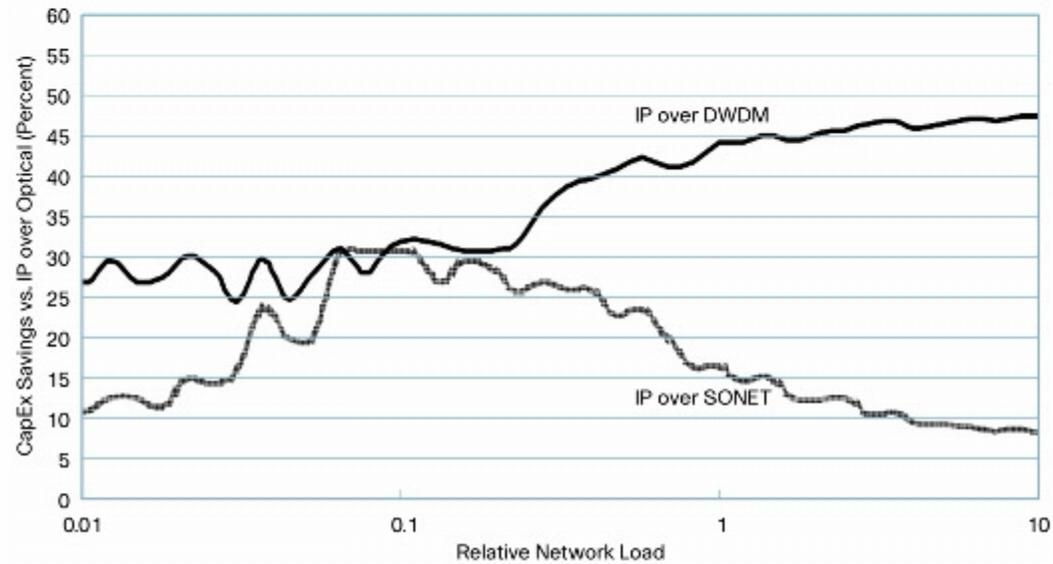
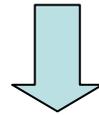


Figure 3. CapEx Savings as a Function of Offered Load in a U.S. Network



Para implementar IP sobre WDM é necessário um plano de controlo



GMPLS – Generalized multiprotocol label switching

Encaminhamento em rede IP

Em redes IP, por cada pacote que recebe, um nó (*router*) toma uma decisão independente quanto ao próximo passo do percurso (*hop-by-hop routing*), com base no endereço de destino (*destination based routing*) e no conteúdo actual da tabela de encaminhamento.

Este método (*destination based routing*) tem algumas limitações

- A decisão é tomada exclusivamente com base em informação presente no cabeçalho do pacote, excluindo-se assim critérios baseados noutra tipo de informação para além da explicitamente transportada no pacote
- O cabeçalho transporta mais informação do que a que é utilizada para seleccionar o percurso (*next hop*), o que significa que nem mesmo é explorada a possibilidade de usar outra informação disponível no cabeçalho (e.g., campo ToS – *Type of Service*)

Algoritmos de encaminhamento IP

Os algoritmos de encaminhamento usados em redes IP são baseados em métricas de menor custo

- » No caso típico em que se usa uma métrica aditiva baseada no número de ligações que formam o percurso (*hop count*), os algoritmos seleccionam os percursos mais curtos (*shortest path*)
- » Os percursos mais curtos (*shortest path routes*) de vários nós de entrada para um dado nó de saída formam uma árvore com raiz no nó de saída. Uma consequência é que as ligações que fazem parte de uma árvore podem ficar congestionadas, enquanto outras ligações se podem manter subutilizadas
- » Isto acontece porque não é possível explorar percursos alternativos (a alteração dinâmica de métricas poderia ser uma solução, mas é demasiado complexa e pode causar efeitos indesejáveis, por exemplo, instabilidade do algoritmo)
- » A utilização de percursos alternativos permitiria reencaminhar tráfego de modo a contornar zonas congestionadas, distribuir carga de forma mais equilibrada pelas ligações e realizar a transferência de tráfego para percursos de reserva em caso de falhas

Nas redes IP tradicionais não existem mecanismos de Engenharia de Tráfego e não é possível providenciar rotas que suportem requisitos específicos de fontes ou serviços ou sujeitas a restrições de Qualidade de Serviço (QoS)

MPLS-Multiprotocol label switching

As arquitecturas de comutação multi-camada (*multilayer switching*), de que o MPLS se constitui como modelo, têm como ideia base combinar

- » técnicas simples e robustas de encaminhamento na camada de rede (de que o paradigma é o IP e protocolos associados) – *Layer 3 Routing / Control*
- » técnicas de comutação rápida, eficientes e escalonáveis, na camada de ligação de dados (de que o ATM é a principal referência) – *Layer 2 Forwarding / Switching*

Em MPLS as funções de Controlo e de Transporte de dados são separadas

- » as funções de Controlo, realizadas em *software*, baseiam-se em protocolos de encaminhamento convencionais (normalizados) e em protocolos de sinalização adequados aos requisitos da arquitectura (podendo ser adaptações ou extensões de protocolos existentes)
- » as funções de Transporte (*forwarding / switching*), realizadas em *hardware*, baseiam-se em técnicas de comutação de etiquetas

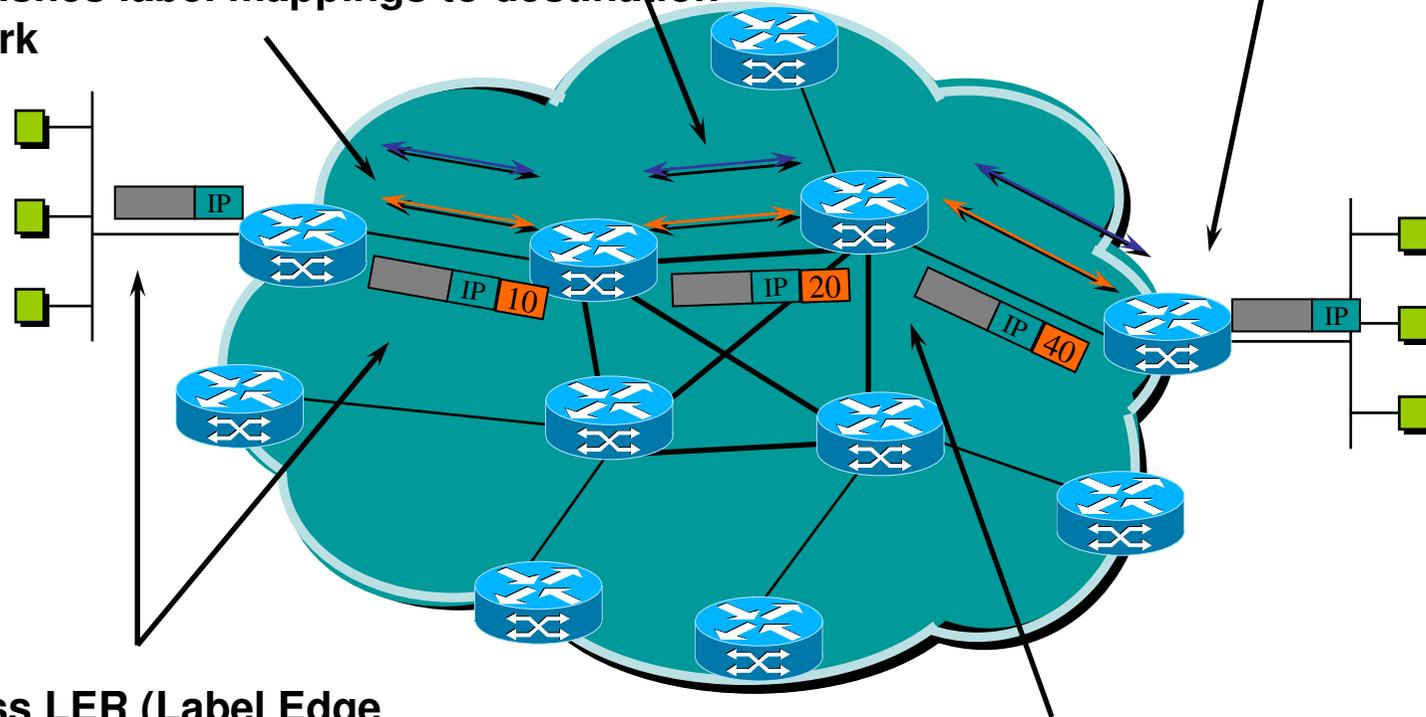
Torna-se assim necessário estabelecer uma associação entre informação de nível 3 (rotas) e informação de nível 2 (etiquetas) – *label binding* – o que justifica a designação comutação multi-camada

MPLS

1a. Routing protocols (e.g. OSPF-TE, IS-IS-TE) exchange reachability to destination networks

1b. Label Distribution Protocol (LDP) establishes label mappings to destination network

4. LER at egress removes label and delivers packet



2. Ingress LER (Label Edge router) receives packet and "label"s packets

3. LSR forwards packets using label swapping

MPLS

Num domínio MPLS os pacotes são comutados exclusivamente com base numa etiqueta que transportam num cabeçalho adicional, sendo este processo realizado pela **componente de Transporte**

» Nos nós de entrada (*ingress nodes*), a cada pacote é apensa uma etiqueta; nos nós internos a etiqueta é processada e eventualmente trocada (*label swapping*); a etiqueta é removida nos nós de saída (*egress nodes*)

A **componente de Controlo**, com recurso a protocolos de encaminhamento e sinalização, mantém informação topológica necessária para a construção e manutenção das tabelas de encaminhamento e de comutação

» As rotas usadas para o transporte de pacotes no interior dum domínio MPLS, entre nós de entrada e de saída, são determinadas com base em protocolos de encaminhamento ou por outros meios (e.g., encaminhamento explícito)

» Em cada nó, a informação sobre rotas mantida numa tabela de encaminhamento (*routing table*) é usada para construir a tabela de comutação (*forwarding table*) que associa um par <porta, etiqueta> na entrada a um par <porta, etiqueta> na saída, realizando-se deste modo o mapeamento entre rotas e etiquetas (*label binding*)

» Para manter a consistência das tabelas de comutação dos nós, é necessário um protocolo de distribuição de etiquetas (LDP – *Label Distribution Protocol*)

MPLS-Conceitos

Label (etiqueta) – identificador de comprimento fixo e pequeno, definido num espaço de valores contíguos, com significado local, usado para identificar fluxos de pacotes (designação equivalente – *tag*)

Forwarding Equivalence Class (FEC) – grupo de pacotes (nível 3) transportados de forma idêntica (pelo mesmo percurso, sujeitos ao mesmo tratamento), pelo que podem ser mapeados na mesma etiqueta

Label Switched Hop – salto (*hop*) entre dois nós MPLS adjacentes entre os quais a transferência de pacotes é baseada numa mesma etiqueta

Label Switched Path (LSP) – percurso (rota) criado pela concatenação de *Label Switched Hops*, isto é, um percurso entre nós de entrada e saída num domínio MPLS, ao qual está associado uma sequência ordenada de etiquetas, o que permite transporte de pacotes entre nós MPLS pela simples troca de etiquetas

Stream – agregado de um ou mais fluxos tratados de forma semelhante para efeito de transporte na rede e descritos por uma mesma etiqueta

Stream merge – agregação de fluxos (*streams* / LSPs) num ponto de confluência (*merge point*), a partir do qual o agregado partilha o mesmo percurso e etiqueta

Label stack – conjunto ordenado de etiquetas no qual se realizam funções *Push* e *Pop* a que corresponde um modo de operação do tipo LIFO (*Last In First Out*)

Critérios para definição de FEC

São possíveis vários critérios para definir um FEC; estes critérios deverão ser tidos em consideração no processo de classificação de pacotes e respectiva associação a um FEC

- » Prefixo do endereço de destino – corresponde ao critério actualmente usado em redes IP (*destination based routing*)
- » Classe de Serviço (CoS) – baseado em campos do cabeçalho IPv4 (por exemplo, *IP Precedence*, *Type of Service*) ou IPv6 (por exemplo, *Flow*)
- » Fluxo de Aplicação (baseado em endereços de origem e destino e informação adicional das camadas de Rede e de Transporte)
- » Grupo *multicast*
- » Encaminhamento explícito
- » *Virtual Private Network* (VPN)

Label switching routers

Os nós de um domínio MPLS designam-se genericamente por *Label Switching Routers* (LSR); é, no entanto, habitual designar os nós de entrada e de saída no domínio por *Label Edge Routers* (LER)

Todos os nós participam nos protocolos de encaminhamento, de distribuição de etiquetas e outros protocolos de controlo

Os pacotes de um mesmo FEC são transportados no mesmo LSP

» o LSP é definido pela sequência de etiquetas associadas ao FEC em cada nó

As funções mais complexas associadas ao transporte de pacotes são realizadas pelo LER de entrada, nomeadamente

» interface a redes externas (terminação do protocolo IP)

» classificação dos pacotes IP (associação a um FEC e portanto a um LSP)

– esta associação é feita uma única vez, no LER de entrada (nas redes IP com encaminhamento passo a passo, cada nó toma uma decisão independente para associar um pacote a uma rota)

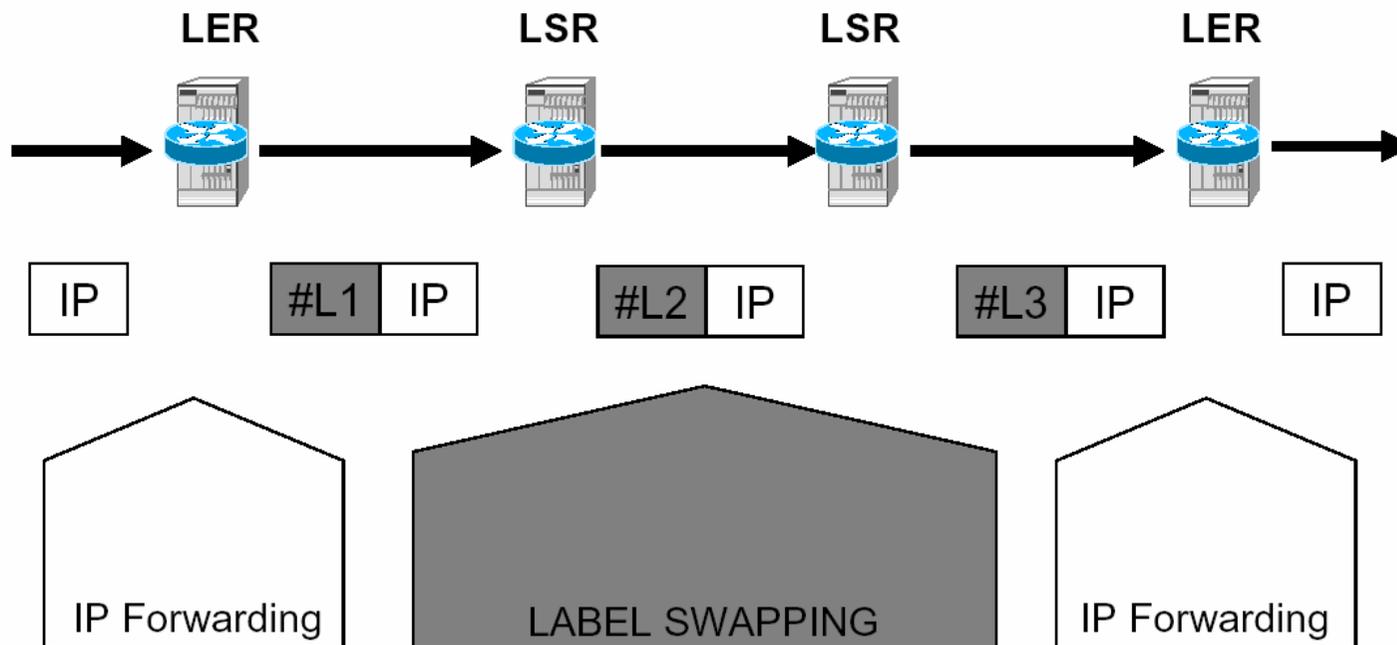
» atribuição da etiqueta (associada ao FEC / LSP)

» adição da etiqueta ao pacote e determinação da porta de saída

Os nós interiores realizam a função de comutação (processamento e troca de etiquetas), enquanto o LER de saída remove a etiqueta e processa o pacote IP, decidindo sobre o Respeetivo encaminhamento

Comutação de etiquetas

- . O LER na entrada do domínio MPLS adiciona uma etiqueta ao pacote IP
- . Os LSR ao longo do LSP realizam comutação com base na etiqueta (*label swapping*)
- . O LER de saída remove a etiqueta, recuperando o pacote inicial



Estabelecimento de LSP

O estabelecimento de *Label Switched Paths*, condição para se poder realizar o transporte de pacotes num domínio MPLS, exige um conjunto de passos que podem ser realizados de acordo com várias estratégias

- » Descoberta e selecção de rotas
- » Criação de etiquetas
- » Associação de etiquetas a cada FEC (*label binding*) ao longo da rota (LSP)
- » Distribuição da informação sobre a associação etiqueta / FEC pelos LSR que fazem parte do LSP a estabelecer (*Label Distribution Protocol*)
 - nós adjacentes passam a partilhar essa informação
 - um nó completa a informação presente na sua tabela de comutação relativa a um LSP, com base na informação partilhada com os nós adjacentes nesse LSP

Seleção de Rotas

Em MPLS são adoptados dois métodos para descoberta e seleção de rotas:

O método básico é baseado em algoritmos de encaminhamento passo a passo (*hop-by-hop routing*), tal como os usados actualmente em redes IP

- » Cada LSR determina de forma independente o nó adjacente (*next hop*) para cada FEC (*hop-by-hop routed LSP*)
- » Este método é baseado na topologia e permite descoberta de *shortest path routes*

O segundo método é baseado em encaminhamento explícito e pode reservar recursos ao longo da rota (ER-LSP – *Explicitly Routed Label Switched Path*)

- » Um LSR (normalmente o LER de entrada ou de saída) especifica alguns ou todos os LSR que fazem parte do LSP (*loosely / strictly routed LSP*)
- » A rota explícita (ER-LSP) pode ser escolhida por configuração ou dinamicamente determinada, por exemplo com base em encaminhamento sujeito a restrições
- » Duas estratégias podem ser seguidas para estabelecimento de um ER-LSP
 - Adoptar um protocolo de reserva de recursos (e.g., RSVP) e estendê-lo de modo a suportar encaminhamento explícito e distribuição de etiquetas (MPLS-RSVP)
 - Adoptar um protocolo usado para distribuição de etiquetas e estendê-lo de modo a suportar encaminhamento explícito e reserva de recursos (CR-LDP – *Constraint-based routed Label Distribution Protocol*)

Engenharia de tráfego

A possibilidade de estabelecer ER-LSP permite suportar técnicas de Engenharia de Tráfego e diferenciação de serviços num domínio MPLS

» O tráfego pode ser enviado por percursos diferentes dos baseados em métricas do tipo *shortest path*, com base em políticas administrativas, de Qualidade de Serviço (QoS) ou requisitos de Engenharia de Tráfego

O encaminhamento explícito é um caso particular de encaminhamento sujeito a restrições (*constraint-based routing*), em que a restrição é o percurso explícito. Em geral estes algoritmos terão em conta características das ligações físicas, como largura de banda, atraso, número de saltos (*hops*) e parâmetros de QoS

» MPLS permite estabelecer e enviar tráfego em ER-LSP, mas não providencia os meios para descobrir percursos sujeitos a restrições

» Uma vez que MPLS permite Engenharia de Tráfego e encaminhamento explícito, suscita o interesse em técnicas de encaminhamento que seleccionem rotas baseadas em requisitos de QoS (*QoS routing*) ou políticas administrativas (*policy routing*)

O cálculo de rotas sujeitas a restrições requer a extensão dos actuais protocolos de encaminhamento, o que está a ser considerado pelo IETF no âmbito mais geral do suporte de Engenharia de Tráfego na Internet

MPLS e Qualidade de Serviço (DiffServ)

No domínio MPLS fluxos de tráfego que recebem o mesmo tratamento por parte da rede são associados num mesmo FEC, o que permite diferenciar classes de tráfego, que podem ser transportadas em LSPs diferentes

No modelo *Differentiated Services* (DiffServ), fluxos de pacotes com o mesmo comportamento alvc constituem um *Behaviour Aggregate* (BA)

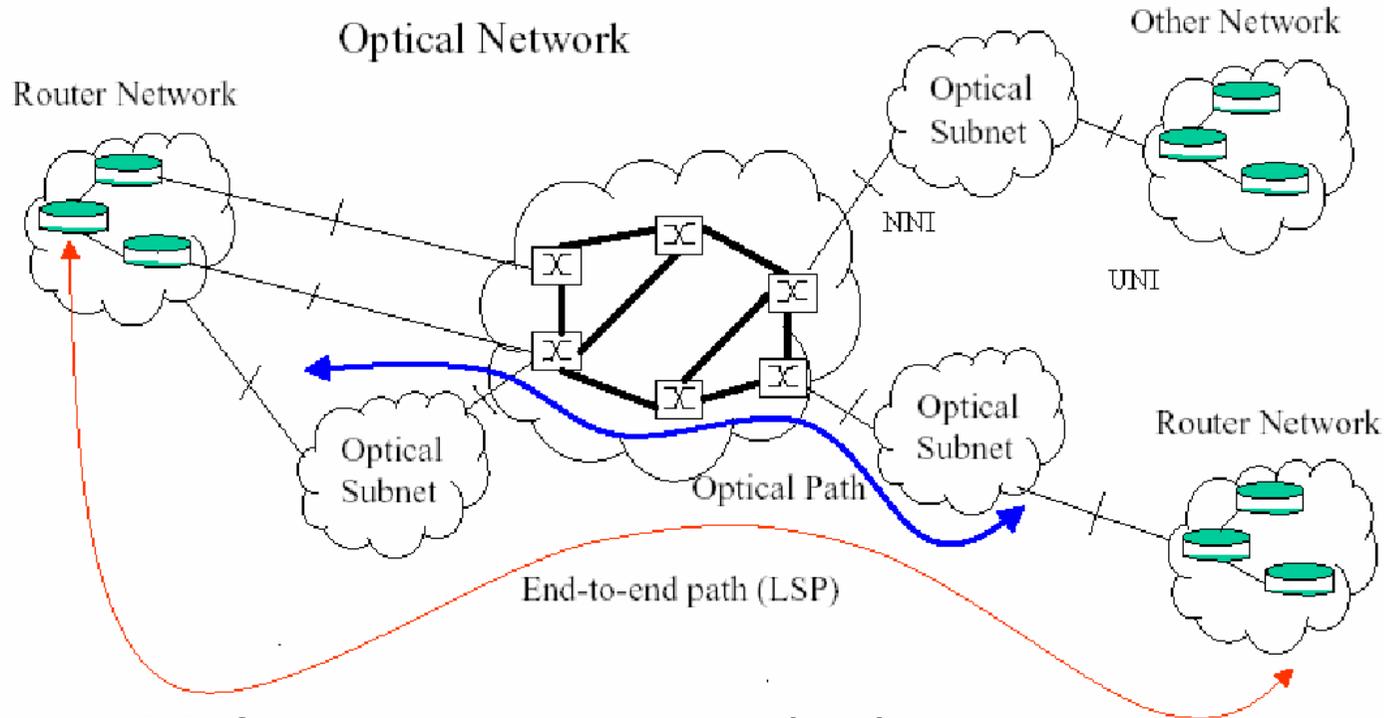
» Em nós de ingresso num domínio DiffServ os pacotes são classificados e marcados com um código correspondente ao respectivo BA, o que permite seleccionar um comportamento (PHB – *Per Hop Behaviour*) que determina o tratamento que receberão em cada nó do domínio (escalonamento, precedência de descarte, etc.)

O MPLS oferece mecanismos apropriados para o suporte de DiffServ, existindo várias alternativas para associar BAs a FECs e mapeá-los em LSPs

» Uma solução simples consiste em usar um LSP para suportar até oito BAs de um Dado FEC; neste caso o campo *Exp* do cabeçalho MPLS é usado para determinar o PHB a aplicar aos pacotes

MPλS – Multiprotocol Lambda Switching

GMPLS- Generalized Multiprotocol Label Switching



O paradigma MPLS pode ser estendido ao domínio óptico, usando comprimentos de onda em lugar de etiquetas numéricas (conceptualmente equivalentes), o que é traduzido na designação *Multiprotocol Lambda Switching*

- » Funções do plano de controlo incluem descoberta de recursos, controlo distribuído de encaminhamento e gestão de conexões
- » Estas funções devem permitir estabelecimento expedito de canais óptico, suporte de funções de Engenharia de Tráfego e esquemas de protecção e restauro

Um canal óptico (*lightpath*) pode consistir num único comprimento de onda ao longo do percurso na rede óptica de transporte (propriedade de continuidade de comprimento de onda) ou numa concatenação de comprimentos de onda (o que determina a necessidade de conversão)

A mesma arquitectura de controlo pode ser usada para controlar LSRs e OXCs, que deste ponto de vista apresentam algumas propriedades comuns

- » Em ambos os casos existe separação do plano de controlo do plano de dados

- » As relações estabelecidas num LSR/OXC e mantidas numa tabela entre pares

<porta, etiqueta / canal óptico > na entrada e na saída não são alteradas pelo *payload* dos pacotes (plano de dados)

Rede óptica de transporte - edge e core

Edge – constituído por *routers IP*, que realizam agregação de tráfego e processamento electrónico ao nível do pacote

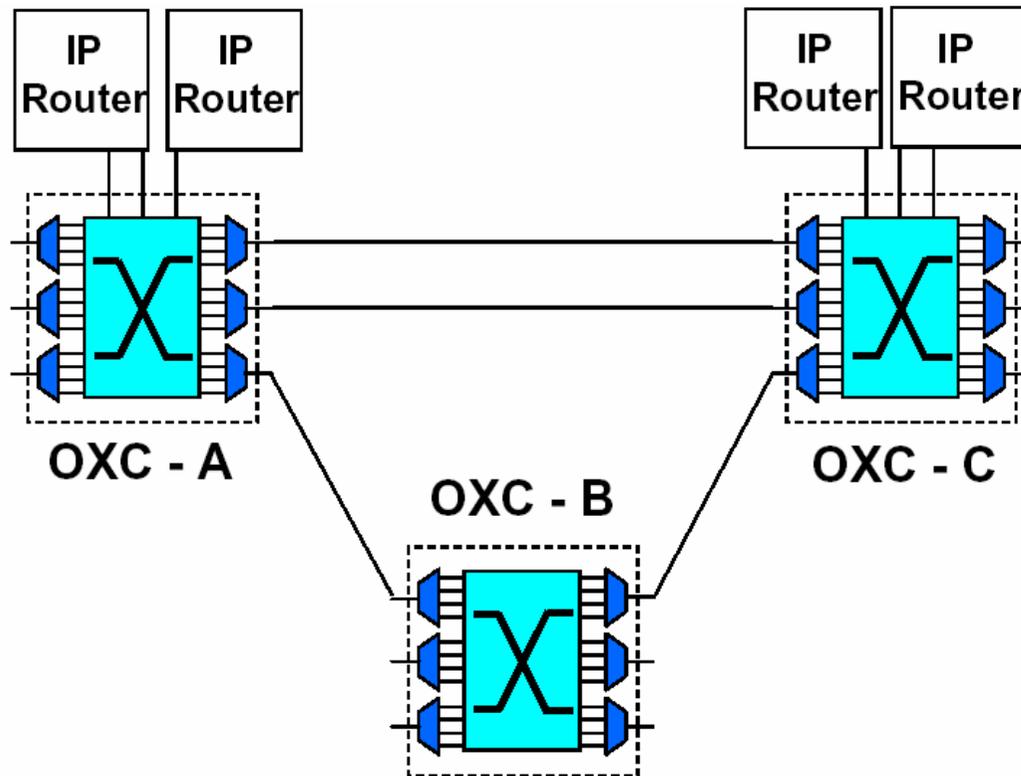
Core – constituído por malha de OXCs e que se caracteriza pela ausência de processamento electrónico e óptico a nível de pacote

» É eliminado o processamento electrónico por pacote nos nós de trânsito (*bypass* no nível óptico), mas não existe igualmente, com esta tecnologia, possibilidade de processamento individual de pacotes no domínio óptico (a unidade de comutação é o comprimento de onda)

– São estabelecidas conexões ópticas directas (canais ópticos / *lightpaths*) ponto-a-ponto entre dispositivos situados na periferia

– Os canais ópticos fornecem uma rede *overlay* de percursos ópticos que definem a topologia de uma rede virtual entre “clientes” na periferia (*routers IP*, computadores ATM, etc.), semelhante à providenciada por circuitos virtuais numa rede ATM

» A rede óptica de transporte deve ser controlável e dinamicamente reconfigurável, de forma a adaptar-se a variações de tráfego e alterações da topologia física, e ser flexível de modo a suportar múltiplas camadas cliente (IP, ATM, SONET/SDH)
OXC



Os canais ópticos podem ser configurados de forma estática ou podem ser dinamicamente estabelecidos, como no caso de GMPLS – em qualquer caso trata-se de uma forma de comutação de circuitos (*optical circuit switching*), uma vez que não existe processamento individual de pacotes transportados no canal óptico; este é o objectivo mais ambicioso da comutação óptica de pacotes (*optical packet switching*)

MPLS e GMPLS

Existem algumas diferenças importantes entre MPLS e GMPLS

» Os OXCs actuais não realizam processamento de pacotes no plano de dados (LSRs realizam funções de processamento de pacotes no plano de dados)

» Nos LSRs a informação para comutação é obtida da etiqueta transportada de forma explícita no pacote, enquanto que em OXCs é deduzida do comprimento de onda

» No domínio óptico não é possível realizar *label merging* nem *label push / pop*

» A granularidade no domínio óptico para efeito de atribuição de recursos situa-se ao nível de comprimento de onda (equivalente a comutação de circuitos)

– O número de comprimentos de onda é limitado (quando comparado com o número de etiquetas MPLS) e a respectiva granularidade é “grossa”, sendo apenas possível aceder à totalidade da largura de banda de um canal óptico (que pode, por exemplo, transportar uma trama SONET/SDH)

– Mapear um único LSP com requisitos de largura de banda modestos (em comparação com a capacidade de um canal óptico) num comprimento de onda é naturalmente ineficiente; é necessário mapear vários LSPs num único canal óptico, o que obriga a embutir LSPs (*nesting*); os extremos destes LSPs embutidos têm de ser *routers* (ou comutadores ATM) – apenas a etiqueta externa pode ser óptica (comprimento de onda), enquanto que as internas são obrigatoriamente etiquetas apenas aos pacotes. As propriedades do Plano de Controlo MPLS (transparência e suporte de múltiplos protocolos) permitem transportar num canal óptico diferentes *payloads* digitais (IP, ATM, SONET/SDH).