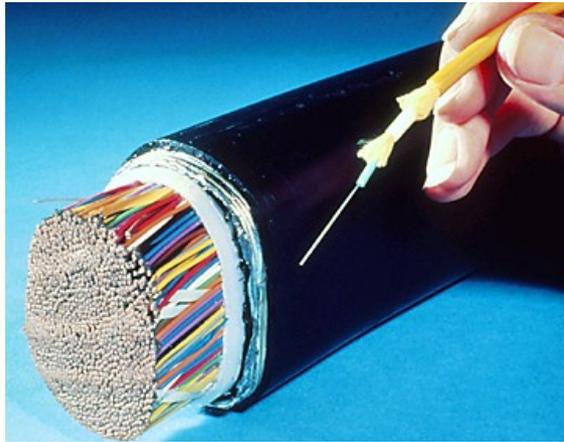


Redes Ópticas





Roteiro

- Introdução / Motivação
 - Fibras ópticas
 - Transmissão óptica
 - WDM
 - Terminais de linha óptica (OLT)
 - Amplificadores ópticos (OA)
 - Multiplexadores ópticos (OADM)
 - Comutadores ópticos (OXC)
- IP sobre Redes Ópticas
- Considerações Finais

Introdução

Motivação

Por que Redes Ópticas?

- A Internet está se movendo em direção a um modelo formado por roteadores de alta capacidade interconectados por um núcleo de redes ópticas
- Fibras ópticas têm capacidade de transmissão (teoricamente) ilimitada

Por que Redes Ópticas?

- Existe uma demanda cada vez maior da sociedade por aplicações avançadas e também capacidades de transmissão maiores
 - Usuários desejam acesso de banda larga de alta velocidade
 - Qual a consequência para o provedor?
- Perguntas:
 - Qual o meio de transmissão mais usado na Internet atual?
 - Por que falar de utilização de redes ópticas com IP quando a Internet já utiliza fibras ópticas largamente?

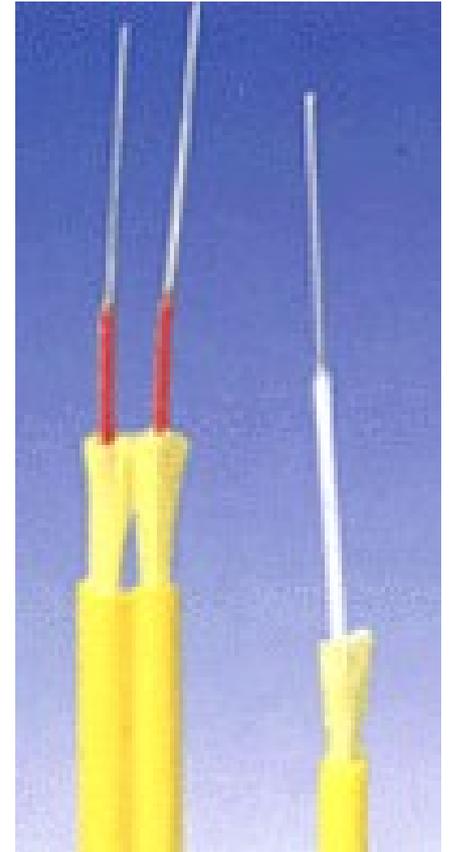
IP sobre Redes Ópticas

- Plano de Controle: por que é necessário?
 - Representa a “inteligência” da rede óptica?
 - Como alocar os recursos ópticos com rapidez e flexibilidade para as redes clientes?
- Questões fundamentais
 - Reutilização dos protocolos do plano de controle IP nas redes ópticas
 - Transporte de tráfego IP sobre redes ópticas
- Gerência dinâmica de redes ópticas
 - Infra-estrutura atual é inadequada

Introdução

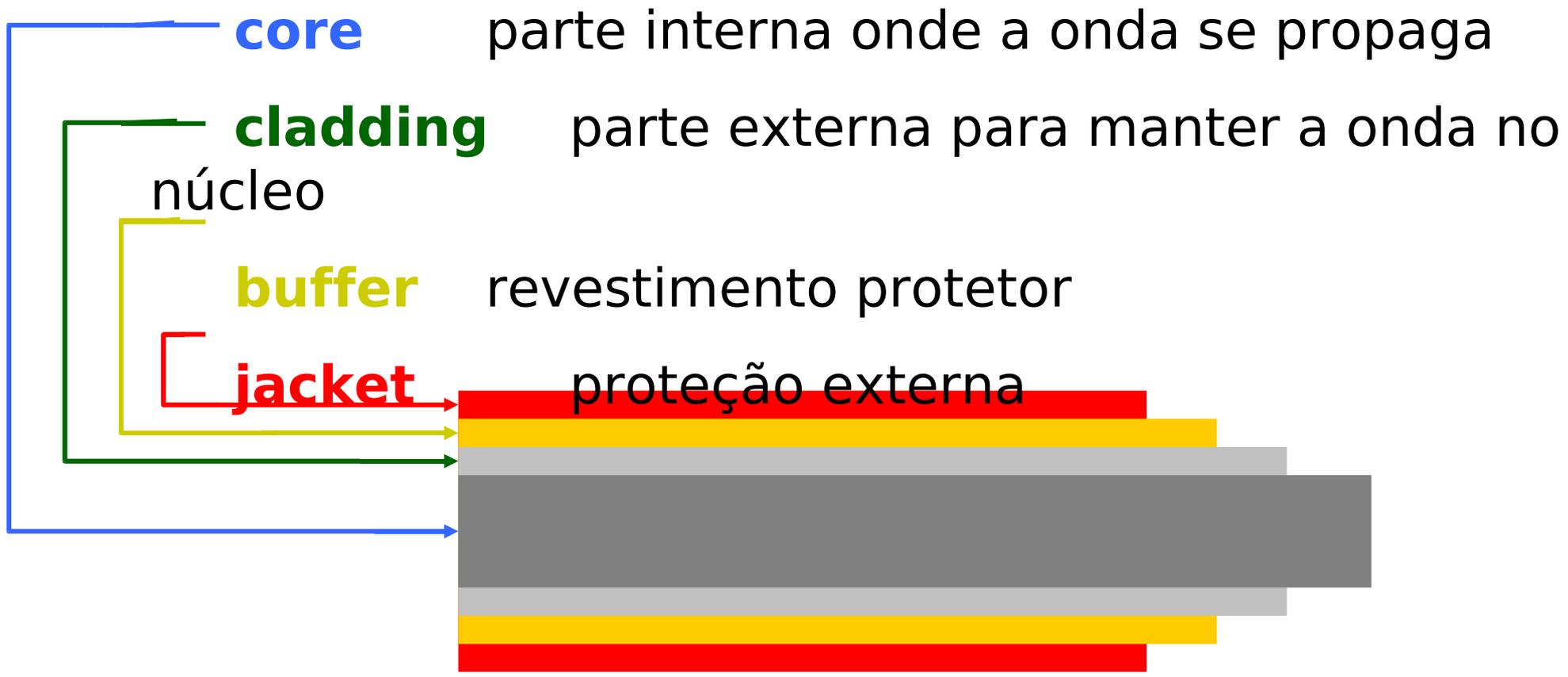
Conceitos de Redes Ópticas

Fibras Ópticas

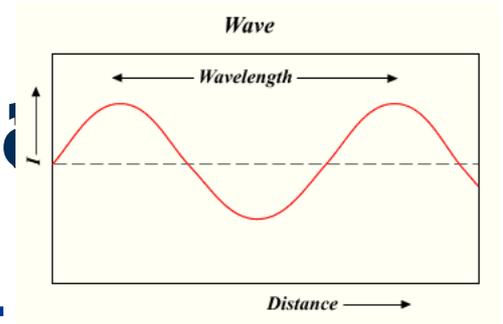


O que é uma fibra óptica?

Uma fibra óptica é um **guia de ondas para a luz**



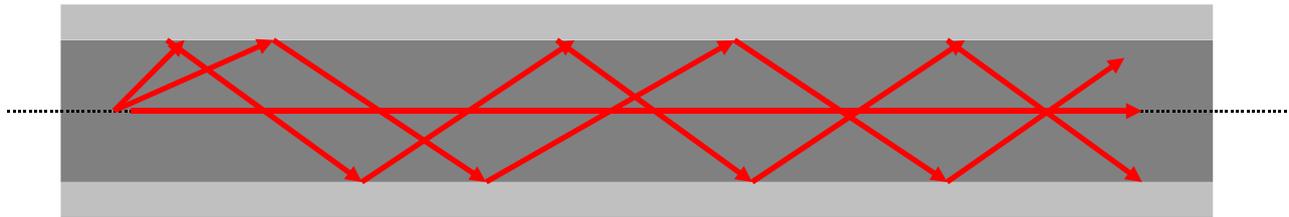
Comprimento de Onda



- Um comprimento de onda é a distância entre as unidades que se repetem de um padrão de onda
- É representado pela letra grega lambda λ
- Também chamado de canal óptico, lambda, caminho de luz ou rastro de luz
- Em redes ópticas modernas, vários sinais podem trafegar em vários comprimentos de onda simultaneamente

Tipos de Fibras

Multimodo



Monomodo



Transmissão Óptica

Cliente



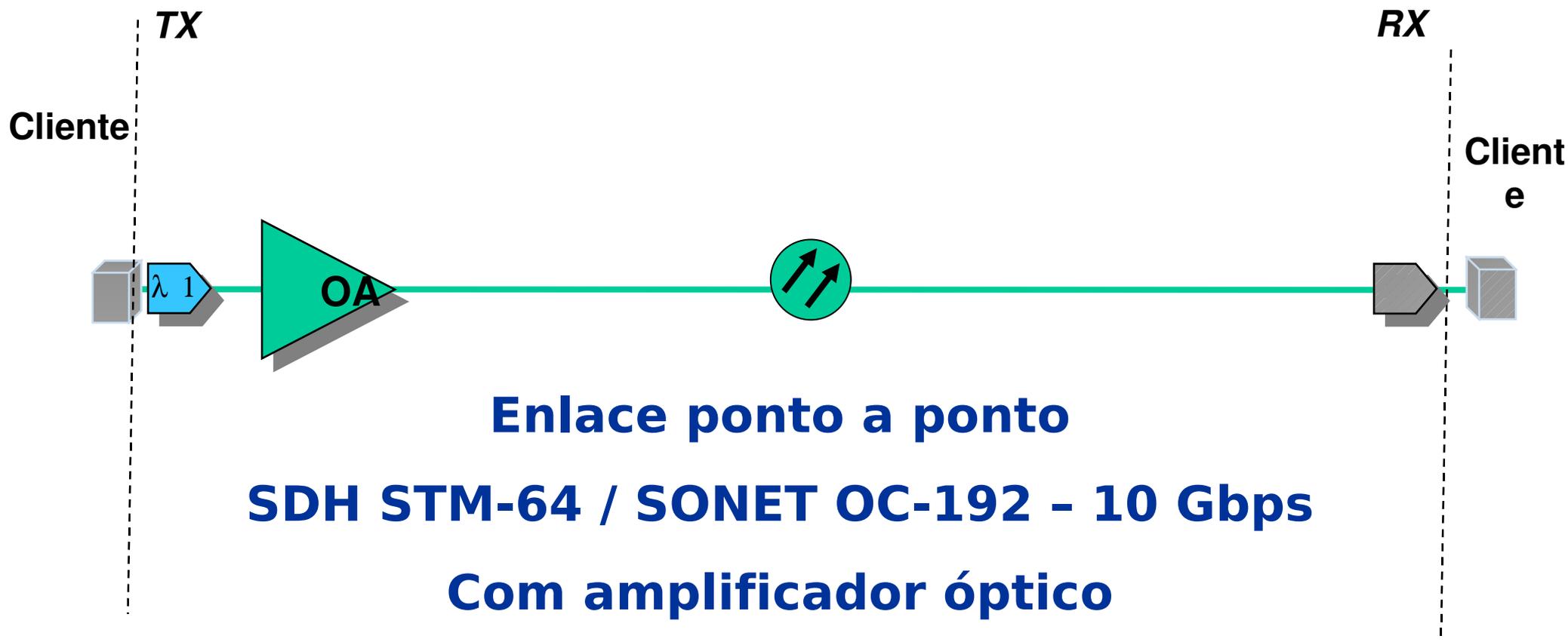
Cliente



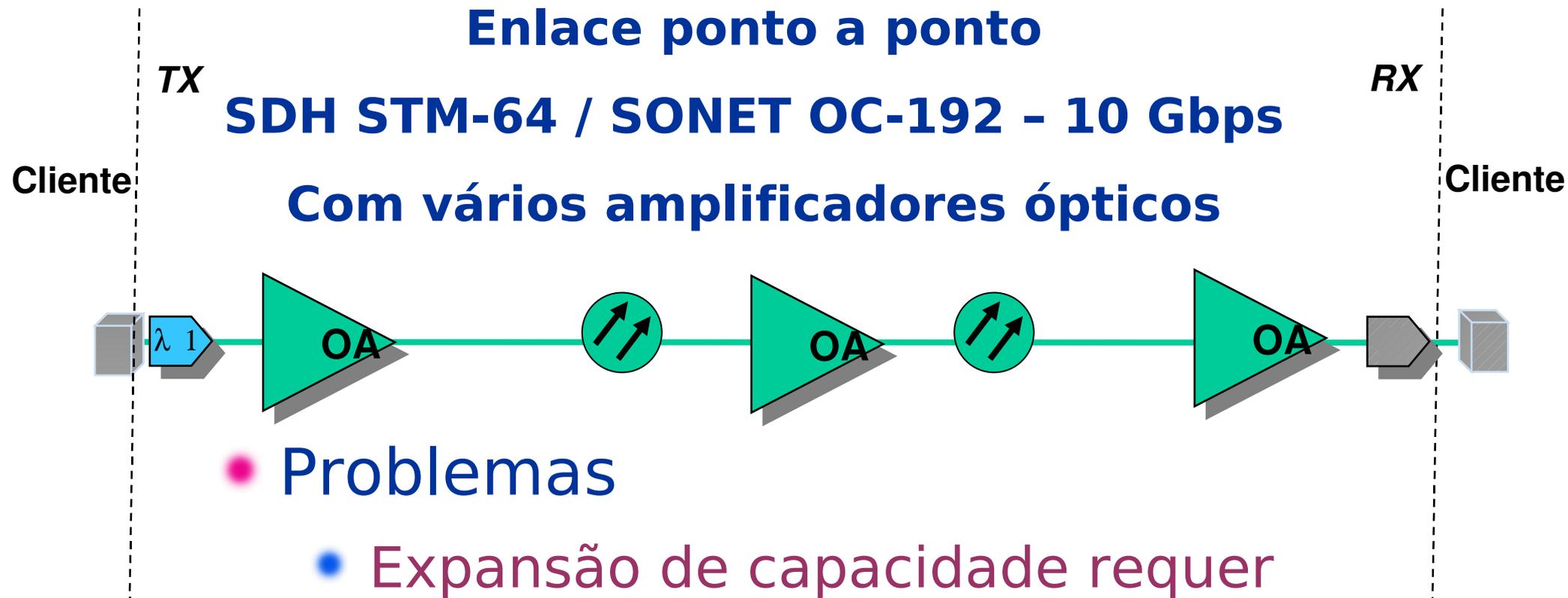
Enlace ponto a ponto

SDH STM-64 / SONET OC-192 - 10 Gbps

Transmissão Óptica



Transmissão Óptica



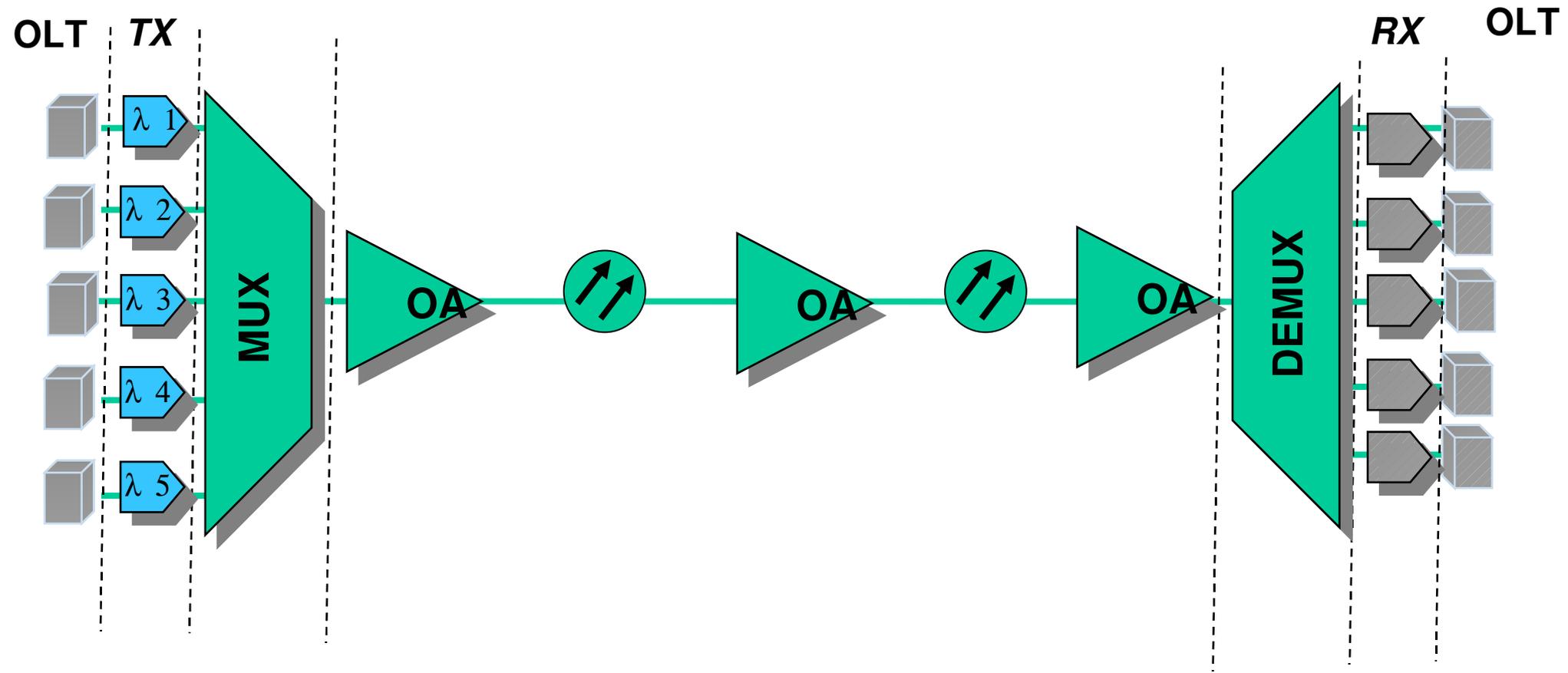
● Problemas

- Expansão de capacidade requer instalação de novas fibras
- Extensão de distância requer amplificadores para cada fibra

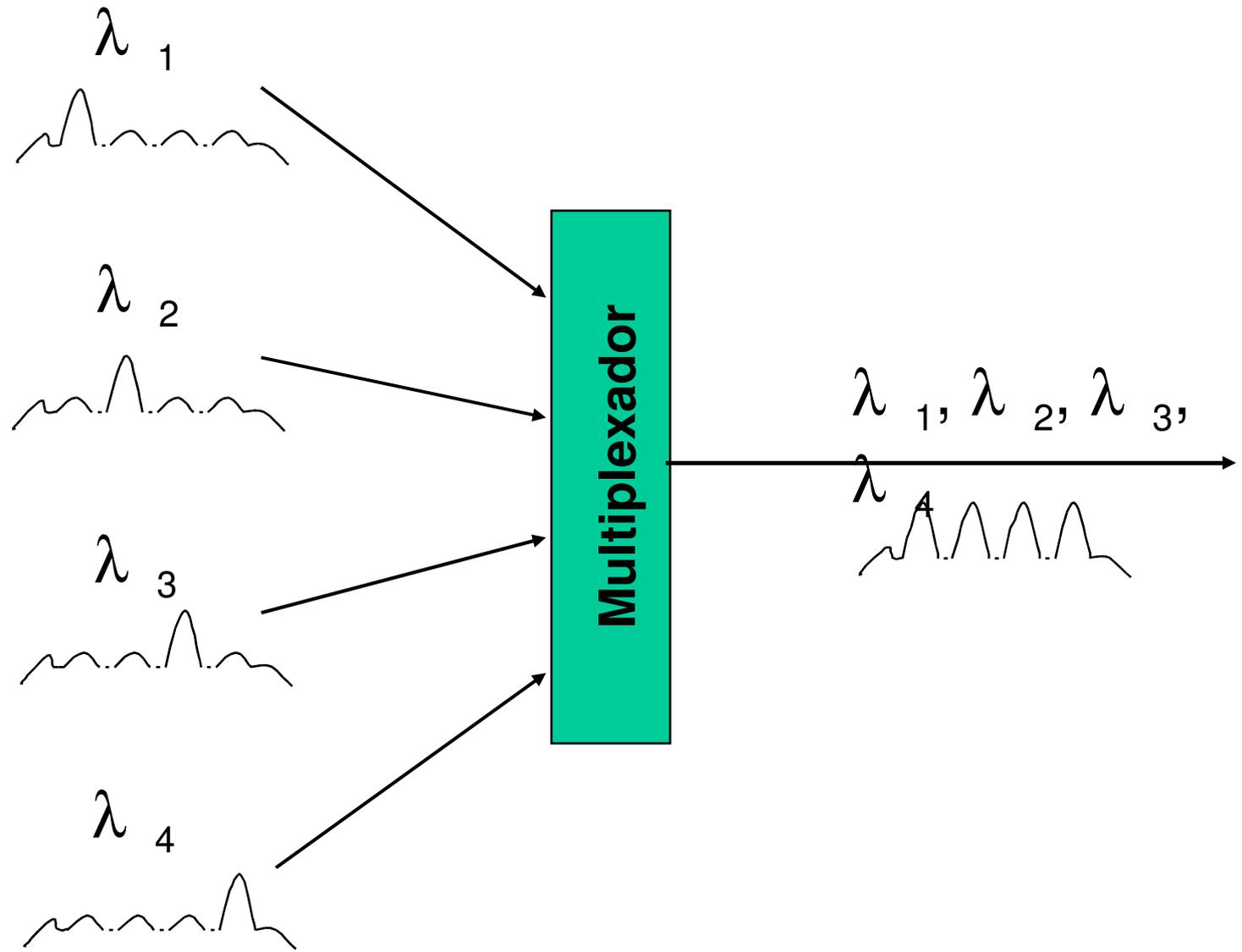
Sistemas WDM

- WDM – Wavelength Division Multiplexing
 - Multiplexação por Divisão de Comprimento de Onda
- Possibilita a divisão de uma fibra em vários comprimentos de onda
- CWDM
 - Coarse WDM: abaixo de 8 lambdas
- DWDM
 - Dense WDM: 8 lambdas ou mais

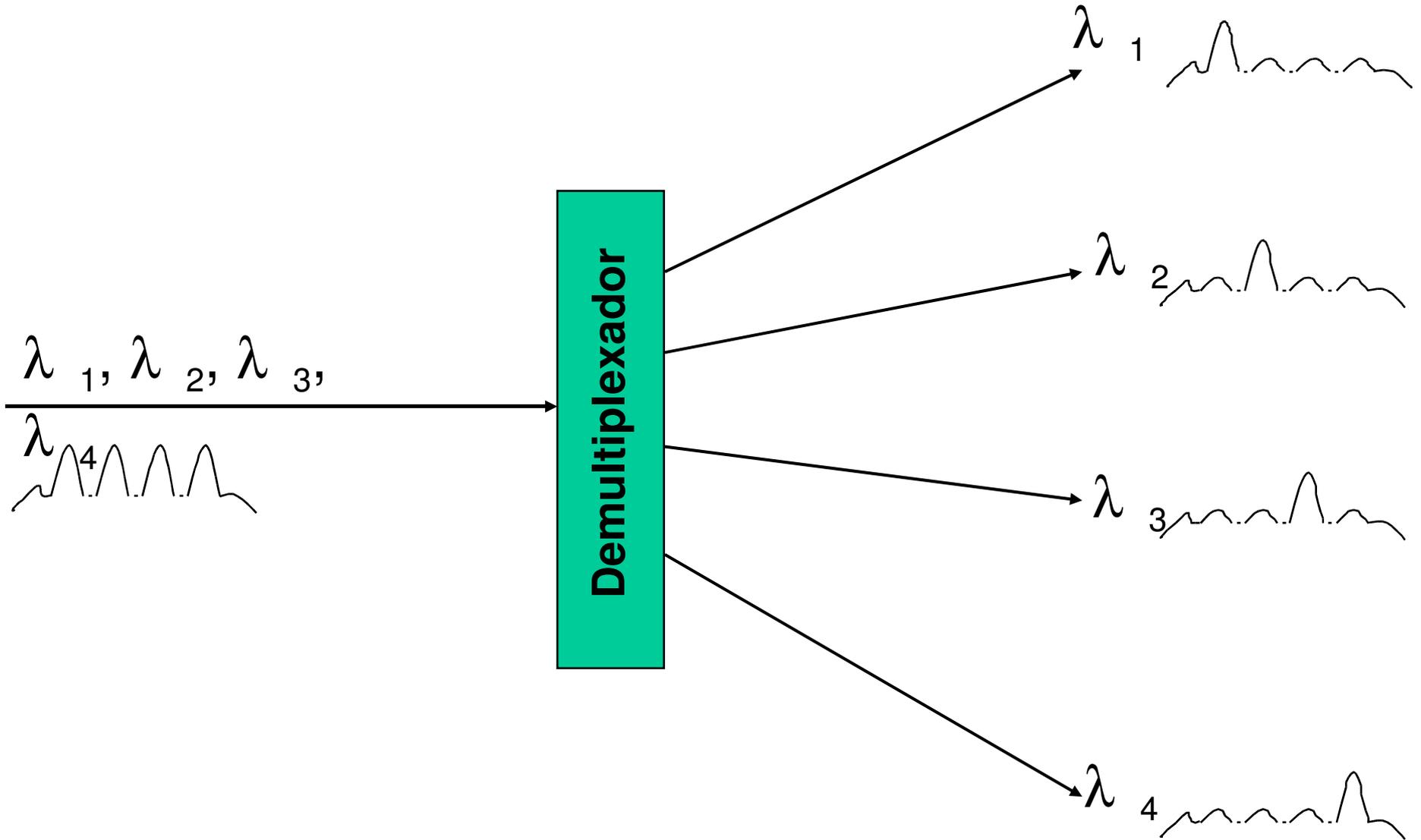
WDM



WDM: Multiplexação



WDM: Demultiplexação



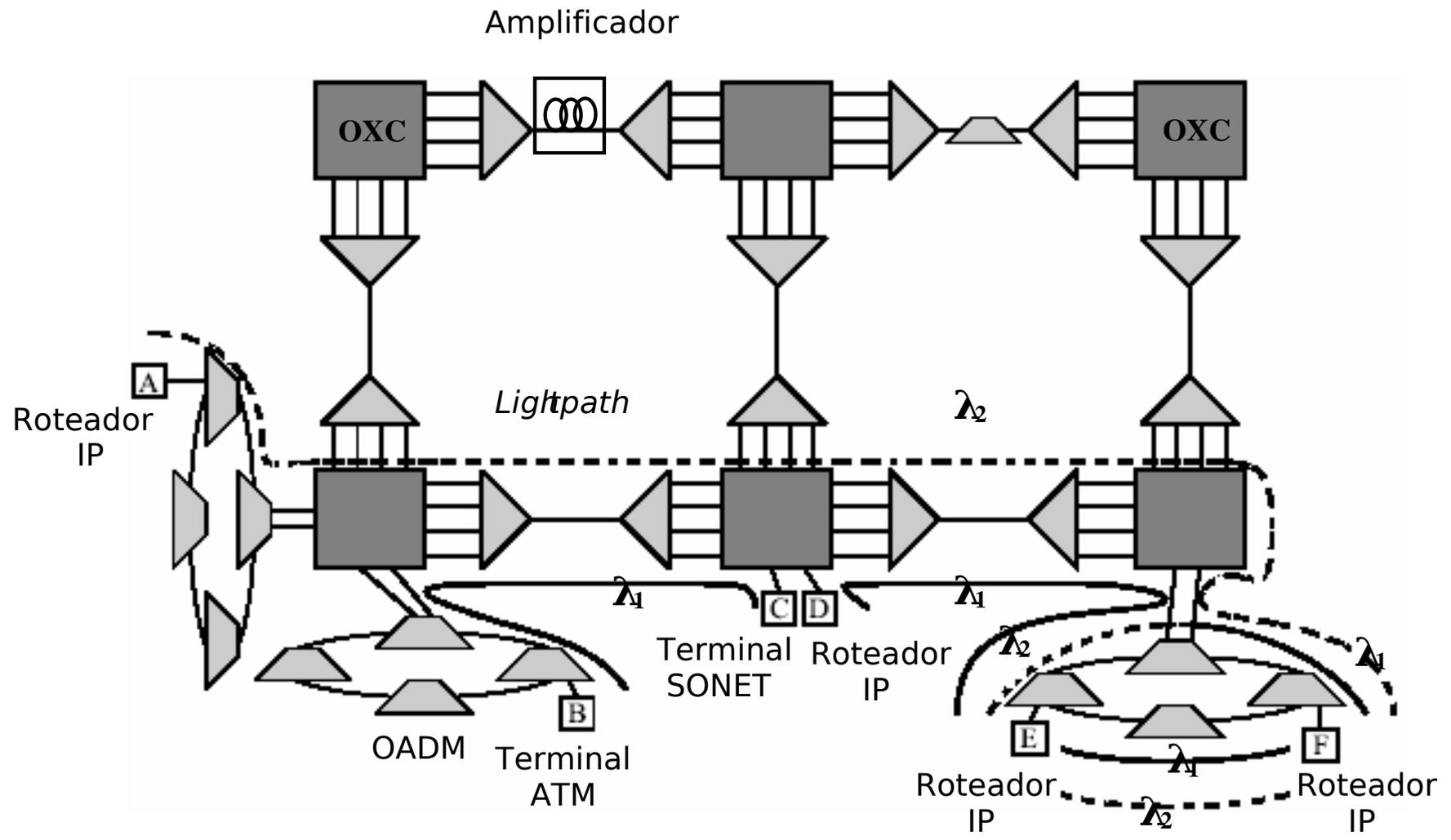


Arquitetura de Redes Ópticas

- Principais componentes
 - Terminais de linha óptica (OLT)
 - Amplificadores ópticos (OA)
 - Multiplexadores ópticos (OADM)
 - Comutadores ópticos (OXC)
- Clientes
 - Terminais SDH/SONET
 - Terminais ATM
 - Roteadores IP



Arquitetura de Redes Ópticas



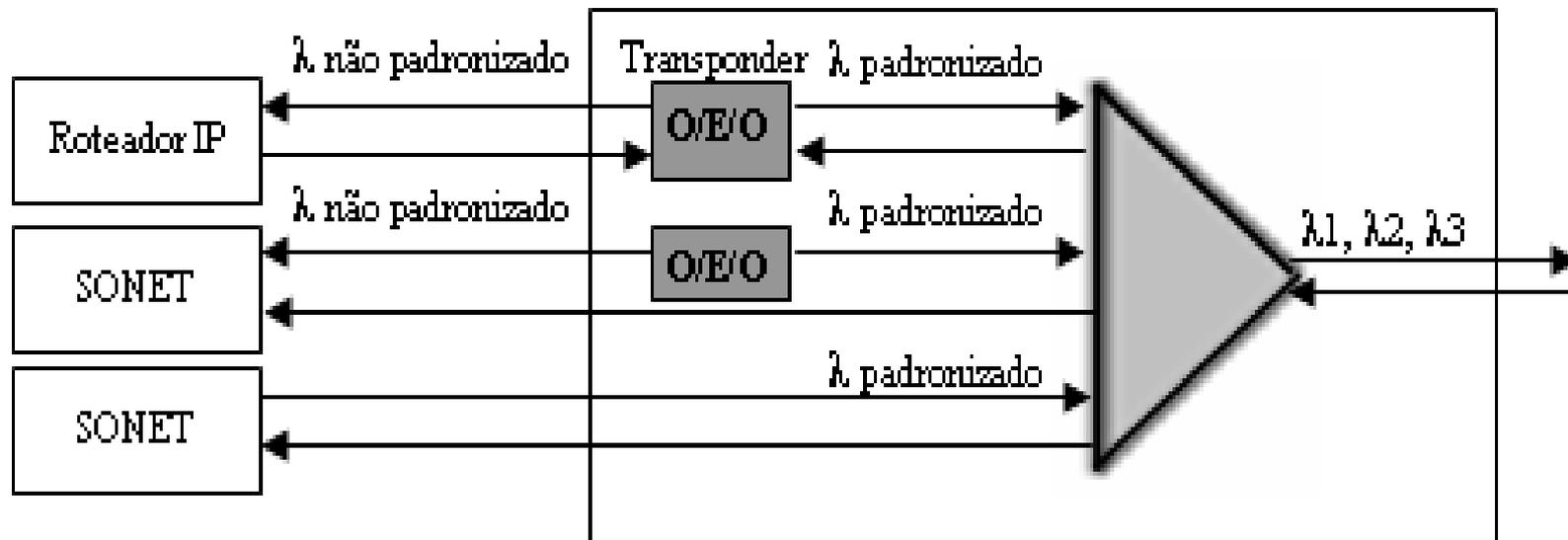


Terminal de Linha Óptica

OLT

- Elementos de rede utilizados no início e no fim de um enlace para multiplexar e demultiplexar comprimentos de ondas
- Transponder
 - Adapta o sinal de entrada (de um cliente) para um sinal que possa ser utilizado na rede ótica
 - É desnecessário quando a interface cliente possui funções de adaptação de comprimento de ondas
 - Converte comprimentos de onda
 - Responsável pela maior parte do custo em um OLT

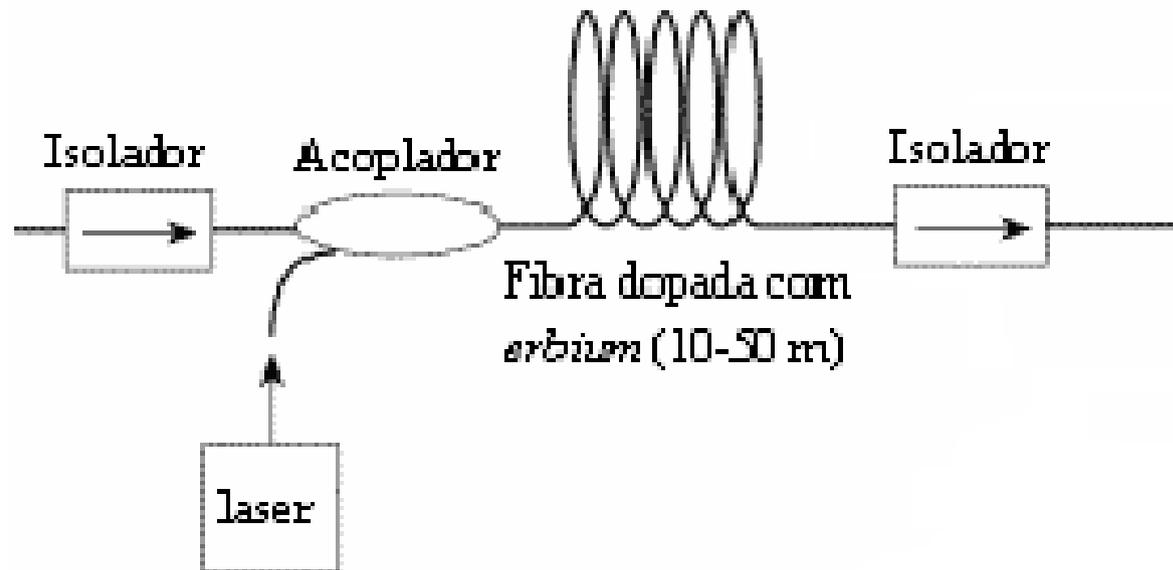
Terminal de Linha Óptica OLT



Amplificadores Ópticos

- Os sinais ópticos são atenuados (perdem a força) durante propagação na fibra óptica
- Para garantir a integridade em grandes distâncias, o sinal precisa ser amplificado
- Atualmente: um amplificador a cada 80-120 km
- Lambdas sofrem atenuações diferentes
- O nível de potência em um canal é influenciado por outros lambdas
 - Tirar e incluir lambda ou falha de lambda
 - Amplificadores em cascata pioram a situação
- Controle automático de potência (AGC) é necessário para manter a potência de saída constante

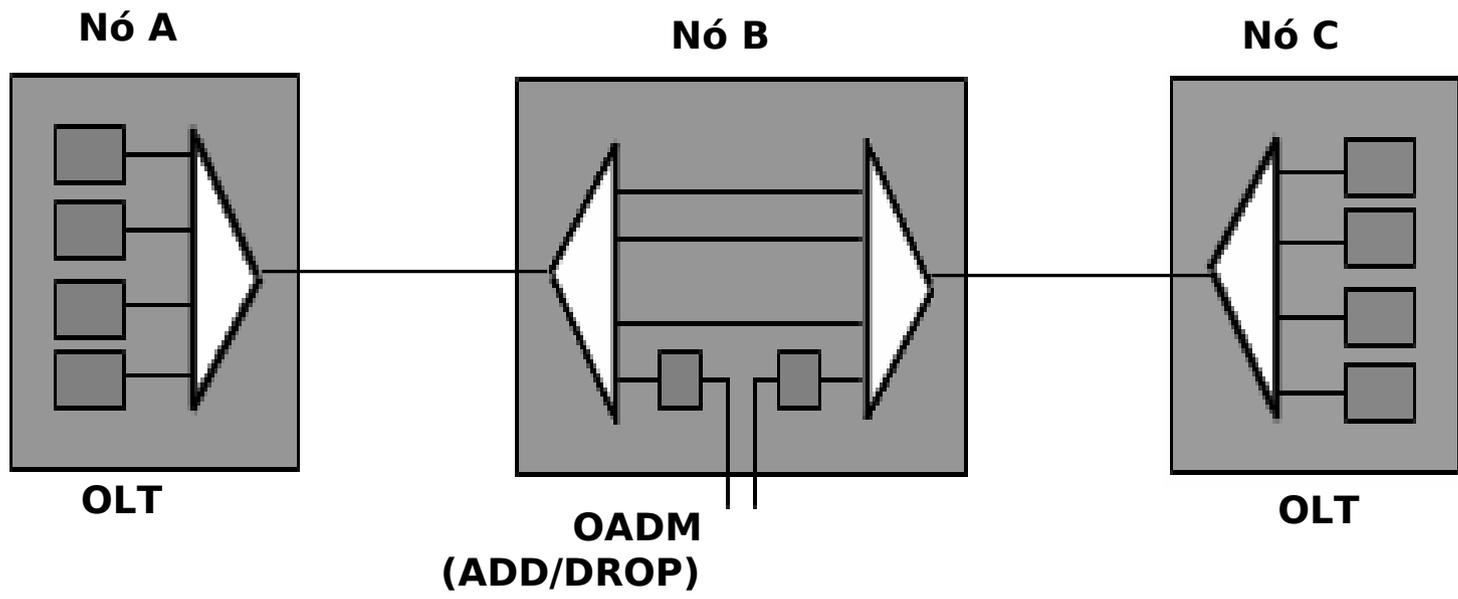
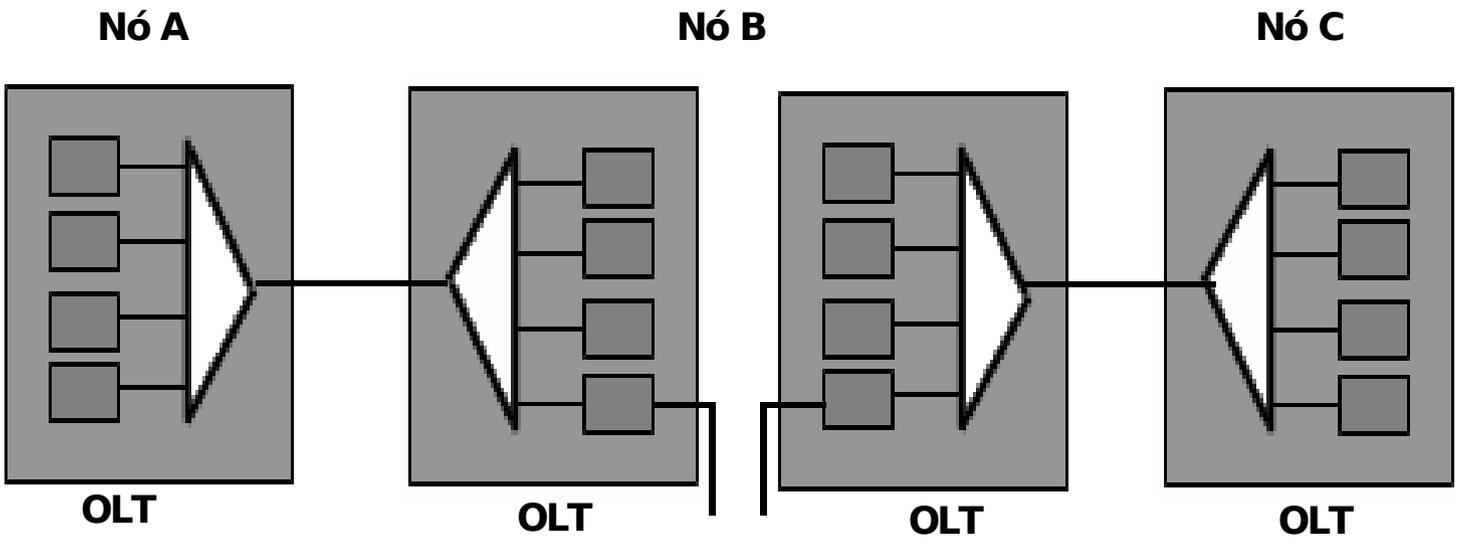
Amplificadores Ópticos



Multiplexadores Ópticos

- OADM - Optical Add/Drop Multiplexers
- São usados para **Inserir (add)** e **Extraír (drop)** canais ópticos de uma transmissão
- São utilizados como uma solução mais barata, em vez de usar um par de OLTs em cada nó
 - A maioria dos lambdas passa direto em um nó óptico, ou seja, não são destinados àquela localidade

Multiplexadores Ópticos



Comutadores Ópticos

- OXC (Optical Crossconnect)
- Fazem o provisionamento dos caminhos ópticos, comutando os lambdas de entrada aos lambdas de saída
- Tipos: Conversão opto-elétrica
 - Transparente: não faz conversão (O-O-O)
 - PXC: Photonic Crossconnect
 - Opaco: faz conversão (O-E-O)
 - OXC

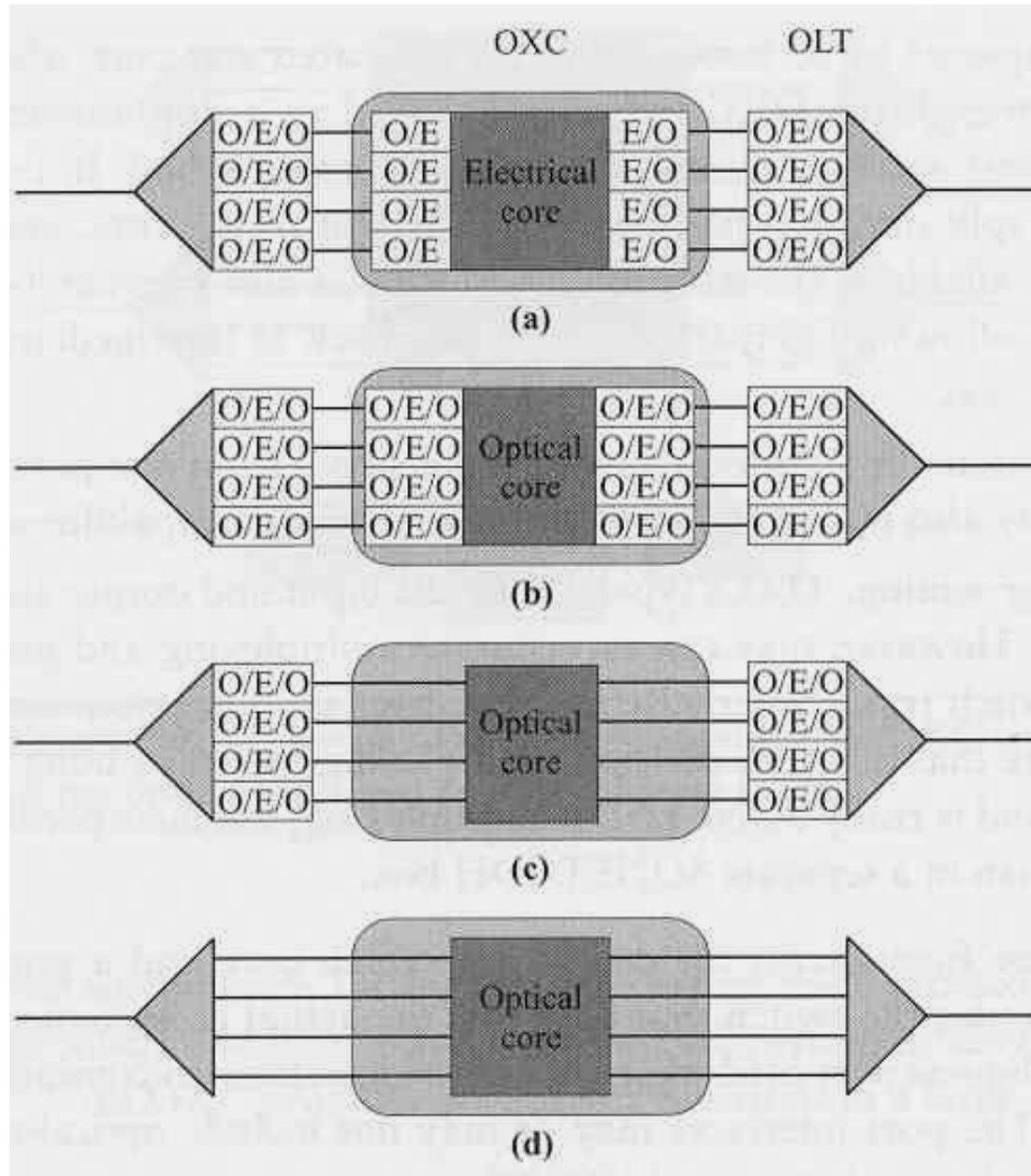
Comutadores Ópticos

- Um OXC necessita de um plano de controle para configurá-lo dinamicamente
- Funções:
 - Aprovisionamento: principal função
 - Escalabilidade: grande número de portas e lambdas
 - Proteção: estabelecimento de novas rotas em caso de falhas
 - Conversão de lambda: além de comutar, alguns OXCs podem converter um lambda de entrada em outro lambda de saída (ex: λ 1 em λ 2)
 - É caro e complexo

Comutadores Ópticos



Comutadores Ópticos

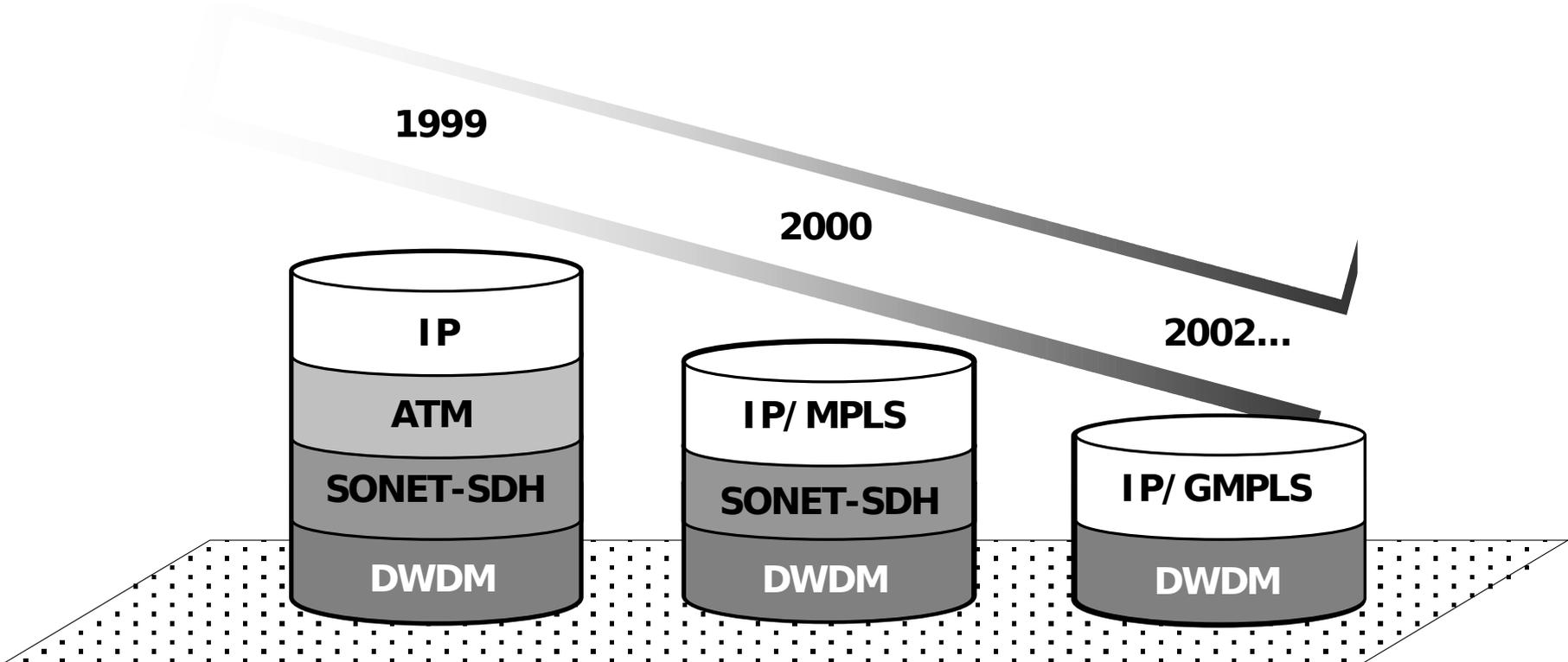


IP sobre Redes Ópticas

Arquiteturas de Integração

- Entre a camada IP e a camada ótica podem existir outras camadas (ou nenhuma)
- Existem várias arquiteturas possíveis para integrar redes IP com redes óticas
 - IP sobre ATM sobre SDH/SONET sobre DWDM
 - IP/MPLS sobre SDH/SONET sobre DWDM
 - IP/GMPLS sobre DWDM
- Menos camadas implicam em maior eficiência na transmissão mas menor controle do tráfego

Arquiteturas de Integração



Arquitetura

IP/ATM/SDH/DWDM

- É o cenário mais comum atualmente, com uma arquitetura em quatro camadas
- ATM é uma tecnologia bastante consolidada no mercado e que oferece engenharia de tráfego e gerenciamento dos recursos (banda)
 - Configura-se circuitos virtuais CBR que são vistos pela camada IP como enlaces
- SDH/SONET são tecnologias onipresentes nas redes de telecomunicações
 - Em WANs ATM em geral é mapeado em SDH/SONET
- A quantidade de camadas sobrepostas gera complexidade e custos mais elevados
 - O encapsulamento de pacotes IP sobre ATM pode gerar um desperdício de 25%

Arquitetura

IP-MPLS/SDH/DWDM

- Arquitetura que visa eliminar a camada ATM
- Usada basicamente em enlaces com capacidade superior a 622Mbps (ATM não evoluiu)
 - OC48 - 2.5 Gbps
 - OC192 - 10 Gbps
 - OC768 - 40 Gbps (ainda não comercial)
- Precisa de um protocolo para enquadramento (framing), geralmente o PPP/HDLC
- Perde-se a flexibilidade de TE do ATM
- O MPLS é uma tecnologia que não substitui o TE



Arquitetura IP- GMPLS/DWDM

- A idéia é retirar a camada SDH/SONET para deixar a rede mais simples e barata
- É necessário algum mecanismo para a rede IP controlar a rede ótica
 - O GMPLS é o principal candidato
 - É necessário um **plano de controle**
- É necessário alguma tecnologia para fazer o enquadramento dos pacotes
 - Ethernet (rede Giga) ou SDH

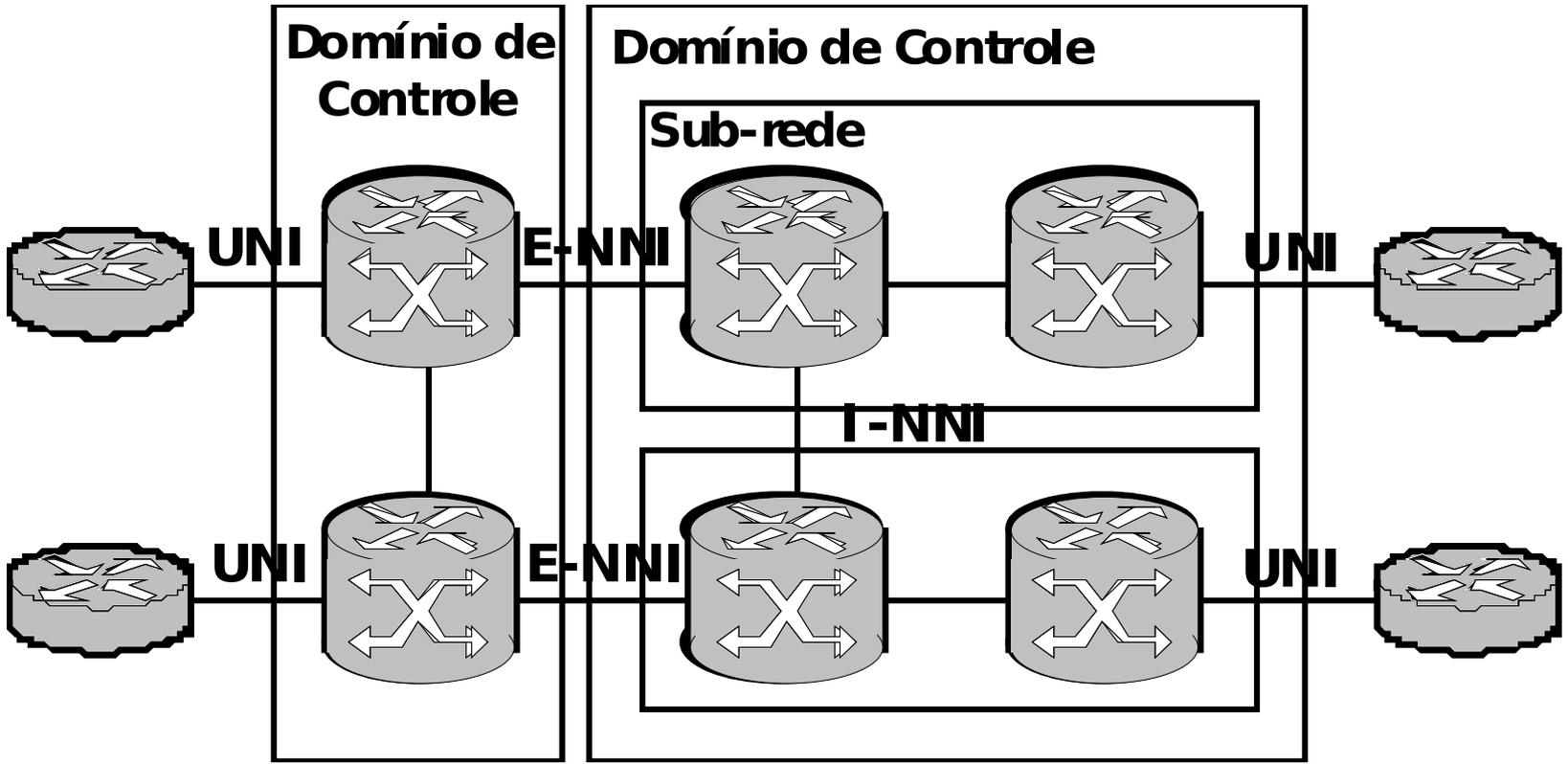
Interfaces de Interconexão

- Interesse da indústria em soluções IP/DWDM gerou soluções proprietárias
- Para obter interoperabilidade deve-se definir:
 - Domínios de controle e pontos de acesso
 - Serviços oferecidos pelas redes de transporte através desses domínios
 - Protocolos usados para sinalizar a invocação desses serviços através de interfaces
 - Mecanismos para transportar as mensagens de sinalização
- Interfaces de controle definem pontos onde ocorre interação entre domínios de controle distintos

Interfaces de Interconexão

- UNI (User-Network Interface)
 - Interface de controle entre o elemento da rede cliente e o elemento de borda da rede óptica
- E-NNI (Exterior Network-Network Interface)
 - Interface de controle entre duas redes pertencentes a domínios de controle diferentes
- I-NNI (Interior Network-Network Interface)
 - Interface de controle entre duas sub-redes dentro de um único domínio de controle

Interfaces de Interconexão



UNI OIF

(Optical Internetworking Forum)

- O objetivo é permitir a criação e destruição de conexões sob demanda
 - Conexão é um circuito com capacidade fixa entre pontos de entrada e de saída da rede óptica
 - Em GMPLS, uma conexão é mapeada em um LSP
- Entidades da UNI OIF (ou seja, máquinas)
 - UNI-C: lado da rede cliente
 - UNI-N lado da rede de transporte
- A UNI não é padronizada pelo GMPLS da IETF, mas alguns protocolos, como RSVP-TE e LMP podem ser usados

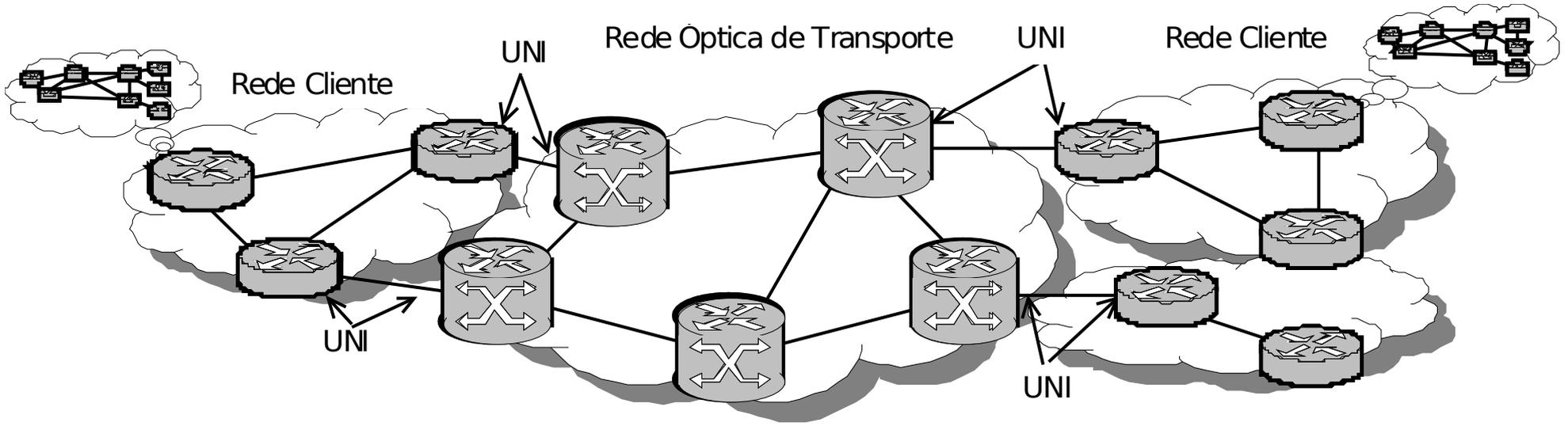
Modelos de Serviço

- Modelo de serviço de domínio
 - O principal serviço da rede óptica é conectividade de alta capacidade através de caminhos ópticos
 - Usa sinalização padrão para criar, remover, modificar e consultar o status de caminhos ópticos
- Modelo de serviço unificado
 - As redes IP e óptica são tratadas de maneira conjunta, como uma única rede integrada, de um ponto de vista de plano de controle
 - OXC são tratados como roteadores
 - Não há distinção entre L1 e L2

Modelos de Interconexão

- Definem níveis de integração dos planos de controle das redes IP e óptica
 - Ou seja, roteamento e sinalização
- Modelos
 - Overlay (sobreposição): separação total
 - Peer (paridade): unificação total
 - Augmented (aumentado): integração parcial
- Modelos de interconexão estão relacionados aos modelos de serviço pretendidos

Modelo Overlay



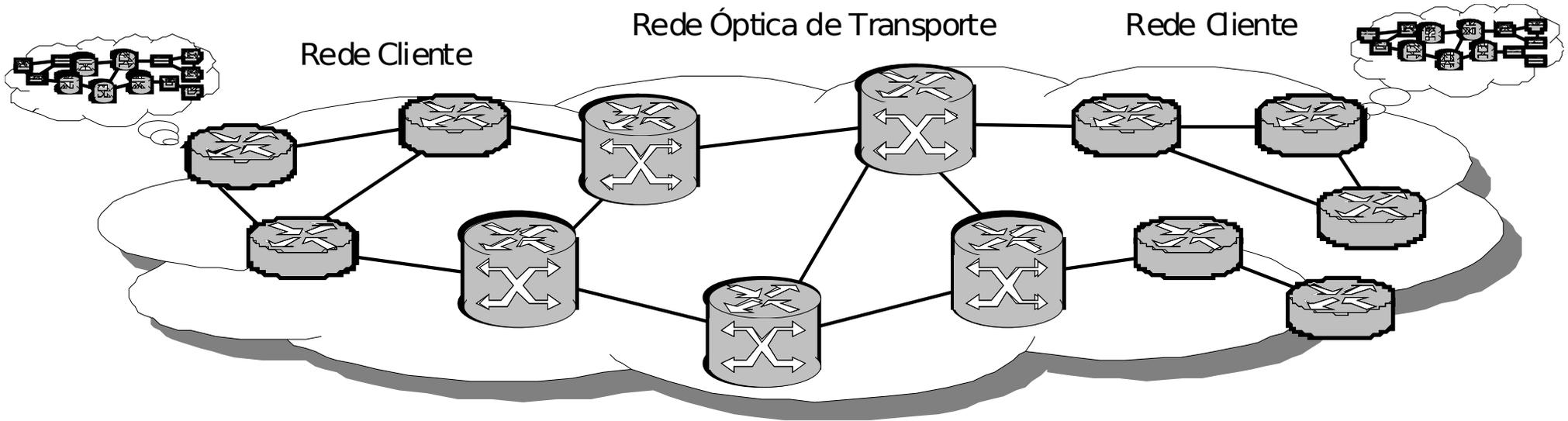
Modelo Overlay

- Segue o paradigma cliente/servidor
 - Cliente: rede IP
 - Servidor: rede óptica
- A rede óptica fornece conectividade ponto a ponto para a rede IP
 - Similar ao modelo clássico de integração IP/ATM
 - Em um caso extremo, exige $O(n^2)$ adjacências de roteamento entre os roteadores
 - Pode gerar alta sobrecarga de roteamento

Modelo Overlay

- Rede IP não tem acesso à topologia da rede óptica
 - Os planos de controle são independentes
 - Utiliza a UNI para sinalização entre as redes
- Benefícios
 - Modelo mais simples de implementar
 - Atende a objetivos administrativos no caso de uma relação comercial de cliente com provedor
 - Define fronteiras administrativas e de controle
- Pode haver integração restrita, para troca de informações de alcançabilidade (roteamento)

Modelo Peer



Modelo Peer

- As redes IP e ópticas compartilham uma única instância do plano de controle
- Roteamento e sinalização são unificados
 - Roteadores IP e comutadores ópticos operam em conjunto
- Usa esquema de endereçamento comum para as duas redes
- A UNI perde o significado e deixa de existir
- Do ponto de vista do roteamento, o roteador de borda é adjacente do OXC ao qual ele está diretamente conectado
- É o modelo almejado para o futuro
 - Exceto em casos em que o modelo comercial não permite

Modelo Augmented

- Modelo intermediário entre os modelos Overlay e Peer, combinando funcionalidades
- Executa instâncias diferentes do protocolo de roteamento em cada rede
- Existe troca limitada de informações de topologia entre as redes
 - Compartilhamento de informações de **alcançabilidade** entre os elementos de borda
- Usa planos de controle diferentes, mas
 - Os elementos de borda participam dos dois planos de controle, ou seja, ocorre uma sobreposição

Considerações Finais

Tópicos Avançados de

Pesquisa

Recuperação de Caminhos

- Objetivos:

- Maximizar a disponibilidade da rede fazendo o melhor uso possível dos recursos disponíveis
- Minimizar a probabilidade de bloqueio de novos caminhos
- Pesquisas em proteção e restauração
 - Especificação de heurísticas para o cálculo sob demanda de caminhos primários e de backup ótimos com compartilhamento de recursos
 - Avaliação de esquemas de recuperação com vários níveis de pré-aprovisionamento
 - Avaliação de mecanismos de restauração total, parcial e local de caminhos

Tópicos Avançados de

Pesquisa

Circuitos, Pacotes e Rajadas

- A comutação óptica de circuitos é a mais difundida e requer um λ dedicado para o estabelecimento de um caminho óptico
- Existem alternativas para tentar melhorar a utilização dos recursos na rede óptica
- Comutação Óptica de Pacotes (OPS)
 - Cabeçalhos devem passar por conversão O/E para processamento e E/O para transmissão
 - Implementação difícil (dispositivos de E/O/E)
- Comutação de Rajadas Ópticas (OBS)
 - Mensagens de controle em canal de controle separado e processadas eletronicamente nos nós intermediários
 - Permite transmissão imediata da rajada

Tópicos Avançados de

Pesquisa

Conversores de Lambda

- Um caminho óptico tradicionalmente usa o mesmo lambda em todos os enlaces
- Com conversores de lambda nos comutadores ópticos, essa restrição pode ser removida
- Conversores são dispositivos caros
- A quantidade de conversores e o seu correto posicionamento podem diminuir o bloqueio de conexões
- Um tópico importante de pesquisa é a influência dos conversores nos algoritmos de RWA

Conclusões

- A Internet está se movendo em direção a um modelo formado por roteadores de alta capacidade interconectados por um núcleo de redes ópticas
- Domínios de tecnologias de redes ópticas e de técnicas, protocolos, mecanismos e algoritmos de controle da rede óptica são de significativo interesse para o avanço tecnológico do Brasil
- O plano de controle da rede óptica é baseado em protocolos IP
 - Facilita integração de redes IP com redes