



Universidade  
do Porto

Faculdade de  
Engenharia

**FEUP**

**Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores**  
*Licenciatura em Engenharia Electrotécnica e de Computadores*

5.º ANO - 1.º SEMESTRE

**REDES DE BANDA LARGA - 2001/2002**

Docente: *Prof.ºr José António Ruela Simões Fernandes*

---

# *Redes Ópticas WDM*

**Trabalho realizado por:**

**Joel Pedro Peixoto de Carvalho**

**Email: ee97041@fe.up.pt**

**N.º Inscrição: 970503041**

**FEUP - 2002**

# INDICE

1.	INTRODUÇÃO .....	3
2.	SERVIÇOS ÓPTICOS WDM .....	6
	SERVIÇOS DE CIRCUITOS ÓPTICOS ANALÓGICOS .....	6
	SERVIÇOS DE CIRCUITOS ÓPTICOS DIGITAIS .....	6
	SERVIÇOS DE PACOTES/CÉLULAS ÓPTICAS WDM .....	7
	SERVIÇOS DE PACOTES/CÉLULAS ÓPTICAS ANALÓGICAS .....	7
	SERVIÇOS DE PACOTES/CÉLULAS ÓPTICAS DIGITAIS .....	7
3.	TIPOS DE REDES ÓPTICAS .....	8
4.	TECNOLOGIAS DE CAMINHOS ÓPTICOS .....	10
5.	STANDARDS PARA REDES LOCAIS (LAN) .....	12
6.	REDES LOCAIS DE FIBRAS ÓPTICAS .....	13
	FDDI .....	13
	FDDI II .....	14
	FIBERNET II .....	15
	S/NET .....	16
	FASNET .....	17
	EXPRESSNET .....	17
	HIPPI .....	18
	FIBRE CHANNEL .....	18
7.	SUMARIAMENTE, AS TRÊS GERAÇÕES DE LANS .....	20
8.	TOPOLOGIAS REAIS TÍPICAS DE INSTALAÇÃO EM REDES ÓPTICAS .....	20
9.	EXEMPLOS DE REDES LOCAIS PURAMENTE ÓPTICAS .....	21
	LAMBDANET .....	21
	RAINBOW .....	21
	FAST OPTICAL CROSS-CONNECT (FOX) .....	22
	TERANET .....	23
	STARNET .....	23
	HYPASS .....	23
10.	PROTOCOLOS DE ACESSO EM REDES ÓPTICAS .....	24
	SLOTTED-ALOHA/PA .....	24
	TDMA-C .....	24
	AMTRAC .....	25
	PIPELINE .....	25
11.	AS MANS ÓPTICAS E O 10 GIGABIT ETHERNET .....	26
	10 GIGABIT ETHERNET .....	26
	ÁREAS DE APLICAÇÕES DO 10 GIGABIT ETHERNET: .....	27
	LINHAS COMUNS ENTRE ESSAS APLICAÇÕES: .....	27
	CAMADAS E PROTOCOLOS DO 10 GIGABIT ETHERNET .....	27
	SUB-CAMADAS DO MEIO ÓPTICO: .....	28
	O 10 GIGABIT ETHERNET NUMA MAN .....	28
	VANTAGENS DO 10 GIGABIT ETHERNET SOBRE DWDM .....	29
12.	WANS ÓPTICAS .....	29
	POSSÍVEL ARQUITECTURA DE REDE DE BANDA LARGA USANDO ATM/SONET/WDM .....	30
	POSSÍVEL ARQUITECTURA DE REDE BANDA LARGA USANDO ATM/WDM .....	30
13.	DUAS TECNOLOGIAS EM DESENVOLVIMENTO: CDMA E MPλS .....	31
	CDMA .....	31
	MPλS .....	32
14.	BIBLIOGRAFIA .....	33

# 1. INTRODUÇÃO

Actualmente a tecnologia de transmissão óptica está a progredir de tal forma, que dentro em breve permitirá a transmissão de informações a taxas tão elevadas que poderão “estrangular” as actuais redes electrónicas de banda larga.

As técnicas de transmissão tradicionalmente usadas em fibras ópticas são técnicas de multiplexagem por divisão no tempo (TDM), em que a transmissão é feita num determinado comprimento de onda ( $\lambda$ ). Este tipo de transmissão permite que se atinjam débitos de 2.44 Gbps, podendo atingir-se — se se usarem tecnologias TDM de última geração — os 9.953 Gbps.

Neste momento, duas tecnologias têm a capacidade de aumentar dramaticamente a largura de banda útil de uma fibra óptica:

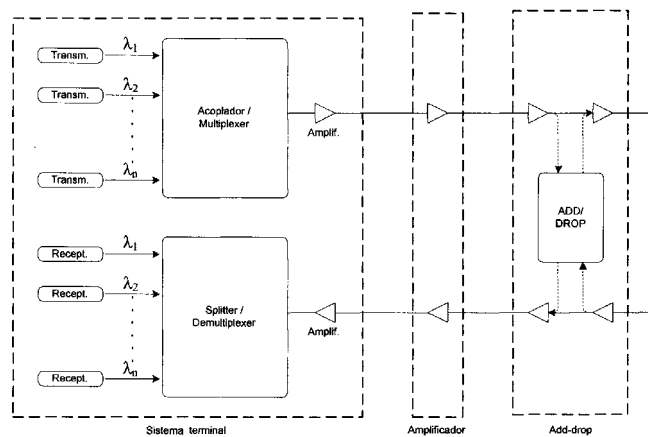
– WDM - *Wavelength Division Multiplexing* - Divide a largura de banda de uma fibra óptica num grande número de comprimentos de onda, cada um dos quais carregando informações a taxas de aproximadamente 10 Gbps.

– OTDM - *Optical Time Division Multiplexing* - Divide a largura de banda de uma fibra óptica num pequeno número de comprimentos de onda (possivelmente somente um), cada um dos quais carregando informações a taxas de aproximadamente 100 Gbps.

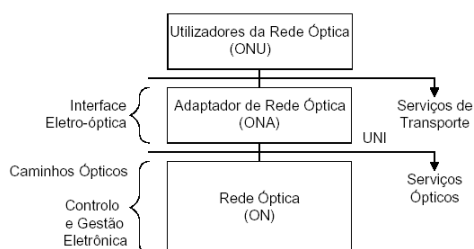
No caso do WDM, é usada uma fibra para transmitir múltiplos comprimentos de onda, correspondendo cada um deles a um canal separado conforme se verifica na figura abaixo. Trata-se, pois, duma técnica extremamente eficaz para expandir — a custos bastante reduzidos — a capacidade das redes ópticas já existentes, o que é um factor de extrema importância para os operadores.



Os primeiros sistemas WDM usavam dois comprimentos de onda: 1310 nm e 1550 nm. Os avanços tecnológicos em amplificadores ópticos e lasers permitem agora a utilização de comprimentos de onda mais próximos, sendo possível ter sistemas com 16, 32 ou 40 comprimentos de onda na mesma fibra. Estes sistemas são conhecidos por sistemas DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing). Combinando as técnicas de TDM e DWDM é possível obter uma capacidade de cerca de 100 Gbps por fibra óptica. A inovação tecnológica provinda do DWDM é uma tecnologia de acesso a alta velocidade e eliminação do *loop* local. Além disso a introdução do DWDM, aumenta em magnitude a largura de banda disponível numa fibra óptica. A figura abaixo representa o diagrama de blocos de um sistema DWDM.



Mas o que é uma rede óptica? A rede óptica (ON - Optical Network), é uma rede onde a interface utilizador-rede (UNI - User-to-Network Interface) é óptica e as informações transmitidas entre UNIs não sofrem conversões eletro-ópticas. É importante observar que apenas as informações do utilizador permanecem no domínio óptico. Informações de sinalização, de alocação de recursos e de gestão podem ser implementadas na rede óptica ou sobre uma rede convencional separada.



Os serviços ópticos (OS - Optical Services), são os serviços que a rede óptica pode oferecer aos seus utilizadores. Estes dividem-se nos Serviços de Circuitos Ópticos e nos Serviços de Pacotes/Células Ópticas.

O adaptador de rede óptica (ONA - Optical Network Adapter), é a interface entre a rede óptica e o utilizador da rede óptica. Este adaptador é instalado na UNI da rede óptica e usa serviços ópticos para prover serviços de transporte aos utilizadores da rede óptica. O ONA pode ser ligado a um ou mais utilizadores da rede óptica através de protocolos padrões de comunicação ou integrado num único dispositivo de utilizador da rede óptica. A complexidade e o preço do ONA dependem dos serviços ópticos disponíveis e dos serviços de transporte desejados. Em algumas situações o ONA pode conter tecnologia óptica sofisticada, tal como memórias ópticas. Neste caso a UNI não precisa necessariamente estar presente onde é feita a conversão eletro-óptica.

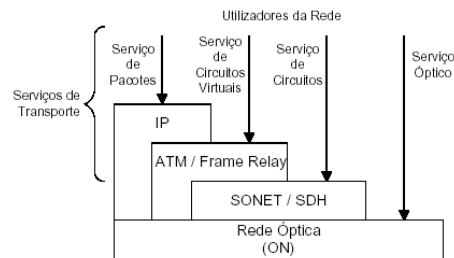
Os utilizadores da rede óptica (ONU - Optical Network Users) são constituídos pelos equipamentos de interligação electrónicos e equipamentos de utilizador final. Dos primeiros, fazem parte *cross-connects* SONET (Synchronous Optical Network), *switches* ATM (Asynchronous Transfer Mode), *switches* Frame Relay ou *routers* IP (Internet Protocol). Entre os equipamentos de utilizador final podem estar computadores pessoais e servidores de vídeo, entre outros.

Existem basicamente três tipos de serviço de transporte no cenário actual das redes electrónicas de comunicações, os serviços de circuito, os serviços de circuito virtual e os serviços de pacote, os quais estão alistados na Tabela seguinte.

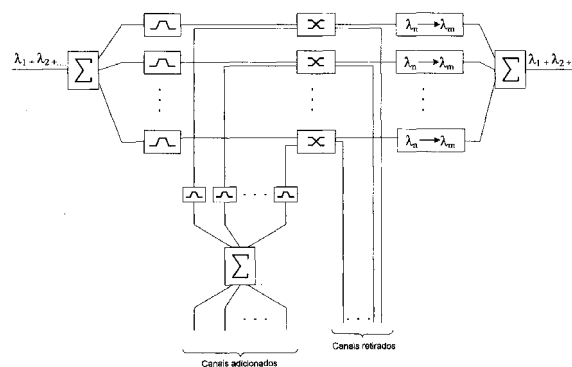
SERVIÇOS DE CIRCUITO	SERVIÇOS DE CIRCUITO VIRTUAL	SERVIÇOS DE PACOTE	SERVIÇOS ÓPTICOS
Rede telefónica	Frame relay	Internet protocol (IP)	Circuitos Ópticos Analógicos
T1 e T3	ATM	Internetwork packet exchange (IPX)	Circuitos Ópticos Digitais
SDH			Pacotes/Células Ópticas Analógicas
SONET			Pacotes/Células Ópticas Digitais

A tabela anterior, acrescenta um quarto serviço de transporte provido pela rede óptica, os serviços de circuitos ópticos e os serviços de pacotes/células ópticas.

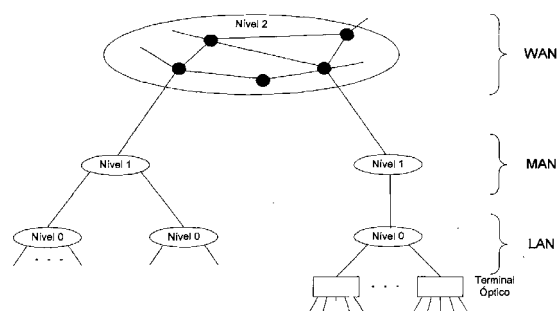
Na próxima figura encontra-se representada a possível posição das redes ópticas uma arquitectura geral de rede de banda larga.



Um dos problemas que mais afectou o desenvolvimento e aplicação dos sistemas WDM em redes ópticas reais foi o facto de ser tecnologicamente difícil e dispendioso constituir sistemas que não fossem ponto-a-ponto. No entanto, o desenvolvimento de amplificadores ópticos dopados com Érbio (que permitem uma amplificação inteiramente óptica e intervalos de regeneração da ordem dos 100 Km) e de multiplexers add-drop estáticos (static add-drop multiplexers) que permitem a extracção e inserção de sinais com diferentes comprimentos de onda (ver figura abaixo), tornou possível a execução e desenvolvimento de verdadeiras redes DWDM.



A tecnologia actualmente disponível permite pensar no desenvolvimento de redes inteiramente ópticas (All-Optical Networks, AON), de elevada capacidade em termos de largura de banda, em que a comutação e a transmissão são totalmente executadas por dispositivos puramente ópticos (isto é, não electrónicos). O conceito de rede AON prevê a existência de três níveis infra-estruturais, estando representados na próxima figura, o nível 2 (nível de área alargada, WAN), o nível 1 (nível de área metropolitana, MAN) e o nível 0 (nível de rede local ou rede de acesso, LAN).



O desenvolvimento de redes inteiramente ópticas usando a tecnologia DWDM terá um impacto revolucionário nas redes de banda larga.

Em termos económicos, esse impacto será enorme, já que tornará desnecessária a instalação de mais fibras para aumentar a capacidade das redes já existentes, permitindo um crescimento gradual da rede e

constituindo uma forma extremamente eficiente de utilização das fibras já instaladas. Além disso, será possível aos operadores alugarem comprimentos de onda nas fibras existentes (o que é bastante mais interessante do que alugar fibras, que são um recurso caro), possibilitando o fornecimento de canais transparentes, de enorme largura de banda.

Tecnologicamente, estas redes possibilitam um salto bastante grande no que diz respeito à capacidade de tráfego, que se espera venha a atingir brevemente os Tbps. O impacto poderá, também, ultrapassar a mera questão do débito, estendendo-se às tecnologias de níveis superiores. O desenvolvimento de encaminhamento inteiramente óptico poderá permitir a utilização de IP directamente sobre WDM (ou mesmo, de aplicações directamente sobre WDM).

## 2. SERVIÇOS ÓPTICOS WDM

### **SERVIÇOS DE CIRCUITOS ÓPTICOS ANALÓGICOS**

As principais características dos **Serviços de circuitos ópticos analógicos** são as seguintes:

- Provêem um canal óptico de banda limitada entre ONAs,
- Suportam conexões ponto a ponto, *multiponto* e *broadcast*,
- Garantem transporte com distorção mínima de sinais, de acordo com especificações de largura de banda do canal e da potência de entrada,
- Podem ocupar completa ou parcialmente um comprimento de onda ( $\lambda$ ).

Esta partilha de comprimentos de onda pode ser feita através de sistemas TDM (Time Division Multiplexing), de sistemas CDMA (Code Division Multiple Access) ou através da multiplexagem da subportadora (SCM - *subcarrier multiplexing*).

As vantagens da partilha de  $\lambda$ s são por demais evidentes, diferentes ONAs podem ocupar um mesmo comprimento de onda, e além disso, os sistemas WDM/TDM permite múltiplas ligações em cada ONA, o que é desejável se os ONAs forem muito dispendiosos.

No entanto, o próprio sistema de partilha de comprimentos de onda possui algumas desvantagens. Os ONAs WDM/TDM requerem funções de alinhamento de temporização que são relativamente simples de se implementar em distâncias moderadas e em redes com pontos bem definidos de sincronização, como é o caso de LANs ou MANs em topologia de anel ou hub. Entretanto, em topologias de malha WAN, sistemas WDM/TDM são muito mais complexos porque necessitam de sincronização dos sinais ópticos analógicos. A sincronização de tais sinais pode ser feita através de sincronizadores ópticos analógicos, entretanto estes dispositivos ainda estão em fase de desenvolvimento. Outro problema dos sistemas WDM/TDM é a ausência de dispositivos maduros de troca de slots temporais.

Como são alocados os circuitos ópticos analógicos? Para estabelecer um circuito óptico analógico entre ONAs, um determinado comprimento de onda é alocado encaminhado de forma transparente através da rede. Este processo é conhecido como encaminhamento por comprimento de onda (*wavelength routing*). Se forem utilizados conversores de comprimento de onda, um circuito óptico analógico pode terminar num  $\lambda$  diferente daquele alocado no ponto de inserção da rede.

### **SERVIÇOS DE CIRCUITOS ÓPTICOS DIGITAIS**

As principais características dos **Serviços de circuitos ópticos digitais**, são as seguintes:

- Provêem um canal lógico digital dedicado entre ONAs,
- A rede garante transporte com erro mínimo de sinais digitais, de acordo com a especificação de modulação do canal,
- Os circuitos digitais ópticos podem ser *full-rate* ou entrelaçados *bit a bit*, *byte a byte* ou *slot a slot*.

Modulação e circuitos lógicos ópticos são requeridos neste tipo de serviços. Em circuitos ópticos digitais, a ONA usa um formato de modulação predeterminado, que geralmente consiste num conjunto de impulsos curtos de elevada potência. Estes impulsos curtos são ideais para serem executados por circuitos lógicos ópticos. Assim, funções como correcção de erros, regeneração, monitorização de erros na ligação de dados e encriptação podem ser suportadas. Entretanto, circuitos ópticos lógicos são bastante complexos, e devem somente ser considerados se a taxa de transmissão de dados for muito alta para o processamento electrónico. Já existem actualmente circuitos lógicos ópticos capazes de operar a taxas de 40 Gbps, ou superiores.

Como é executada a partilha de circuitos ópticos digitais? As técnicas de entrelaçamento *bit a bit*, *byte a byte* ou *slot a slot* podem ser utilizadas para permitir a partilha temporal de circuitos ópticos digitais. Circuitos ópticos lógicos podem ser utilizados para opticamente desmultiplexar e interligar os fluxos de bits constituintes de um circuito óptico digital. A desmultiplexagem óptica já foi demonstrada a taxas de 400 Gbps. Embora a desmultiplexagem no domínio óptico seja bastante directa, o entrelaçamento de fluxos de bits gerados em posições geográficas diferentes possui severos requisitos de tempo que limitam tal solução. A partilha de circuitos ópticos digitais através de entrelaçamento pode ser implementada em redes ópticas quando as distâncias envolvidas não são muito grandes, mas é muito difícil de ser implementada em outras situações devido a necessidade do uso de sincronizadores ópticos digitais.

Os sincronizadores ópticos digitais são dispositivos que permitem sincronizar dois sinais ópticos digitais com qualquer diferença de fase. Uma implementação possível para estes dispositivos pode ser uma linha de atraso variável.

### **SERVIÇOS DE PACOTES/CÉLULAS ÓPTICAS WDM**

A necessidade de disponibilizar serviços de pacotes/células em redes ópticas prende-se com o facto destes serviços utilizarem mais eficientemente os recursos da rede óptica quando o padrão de tráfego dos utilizadores de rede é elevado. Além disso as ONAs podem utilizar estes serviços de pacotes/células ópticas para prover serviços de transporte de circuitos e de pacotes aos utilizadores da rede (Frame Relay, ATM, IP ou IPX).

### **SERVIÇOS DE PACOTES/CÉLULAS ÓPTICAS ANALÓGICAS**

As principais características dos **Serviços de Pacotes/Células Ópticas Analógicas**, são as seguintes:

- Provêem um serviço de transporte de pacotes/células onde o *payload* destes pacotes/células é um *slot* de tempo transparentemente encaminhado através da rede,
- Um *slot* de tempo pode conter qualquer sinal analógico de acordo com especificações de largura de banda e de potência de entrada, o cabeçalho dos pacotes/células é um endereço digital que é enviado fora da banda (em tempo ou em frequência) e que viaja pelo mesmo caminho e sincronizado com o *payload* dos pacotes/células,
- O cabeçalho dos pacotes/células deve ser interpretado pelos nós e ONAs da rede,
- Existem vários métodos de codificar o cabeçalho dos pacotes/células.

### **SERVIÇOS DE PACOTES/CÉLULAS ÓPTICAS DIGITAIS**

As principais características dos **Serviços de pacotes/células ópticas digitais**, são as seguintes:

- Provêem um serviço de pacotes/células análogo aos serviços de pacotes/células electrónicos,
- O *payload* e o cabeçalho dos pacotes/células são alojados digitalmente num *slot* de tempo.

Como funcionam então os serviços de Pacotes/Células lógicos? As ONAs devem possuir armazenamento (electrónico ou óptico) e ser responsáveis por funções tais como: *traffic shaping* e controlo de fluxo. Para enviar um pacote/célula, o ONA cria um *payload* que carrega as informações, e um cabeçalho, que contém o endereço de destino na rede óptica. Para tornar possível a interligação, o cabeçalho dos pacotes/células deve possuir um formato específico que pode ou não sofrer conversões opto-elétricas nos nós de interligação. O *payload* pode ser analógico ou digital e permanece no domínio óptico durante todo o percurso através da rede óptica. A tecnologia actual limita seriamente a banda de serviços de pacotes/células ópticas que podem ser oferecidos. Talvez o maior problema seja a implementação de memórias ópticas.

Actualmente, as memórias ópticas são baseadas no conceito de injectar luz em laços de fibra, onde o sinal luminoso vai circulando teoricamente até que seja “lido”. Devido a natureza cíclica das memórias, a leitura de informações está restrita a múltiplos do tempo de ciclo do anel. Portanto, memórias ópticas de acesso aleatório ainda não existem. Uma consequência prática disto é que as memórias disponíveis actualmente não podem ser utilizadas para sincronizar sinais. Outra consequência é que as memórias ópticas actuais precisam ser dimensionadas para o tamanho dos maiores pacotes esperados na rede óptica. Memórias em anel analógicas possuem muito pouco tempo de armazenamento, tipicamente da ordem de dezenas de circulações, o que torna o suporte de serviços de pacotes/células ópticas analógicas muito difícil.

Memórias em anel digitais, que usam impulsos curtos e regeneração óptica de impulsos no interior do laço, possuem efectivamente tempo de armazenamento infinito. Entretanto, tais memórias são demasiado caras, fisicamente volumosas e pouco práticas. Outro aspecto importante é a capacidade das memórias ópticas. Tipicamente as memórias ópticas podem armazenar cerca de  $10^4$  pacotes/células. Mesmo que as memórias ópticas estivessem amplamente disponíveis, a ausência de sincronizadores ópticos continuaria a ser um importante problema tecnológico. Pelo menos até que este problema seja resolvido redes digitais de pacotes/células ópticas deverão estar limitadas a um pequeno número de nós.

A viabilidade da utilização de serviços de pacotes/células ópticas ainda não parece ser generalizada. Parece haver pouca motivação para se utilizar serviços de pacotes/células ópticas digitais nas actuais taxas de transporte electrónicas. Transmissão, memória e lógica óptica tem sido demonstradas a taxas superiores às taxas electrónicas. Entretanto, a estas taxas o fluxo de bits requer circuitos ópticos lógicos, e apenas algumas funções simples estão disponíveis. Funções importantes de interligação tais como: *contention resolution*, gestão de filas de espera, e garantias de QoS ainda tem de ser feitas electronicamente. Por estas razões, mesmo serviços de transporte simples ATM, como por exemplo serviços CBR (*Constant Bit Rate*) e VBR (*Variable Bit Rate*), não pode ser atendidos actualmente, utilizando-se serviços de pacotes/células ópticas. O que será possível num futuro próximo são demonstrações de serviços de pacotes ópticos de tamanho fixo com pequenos requisitos de memória e poucos nós.

### 3. TIPOS DE REDES ÓPTICAS

A principal distinção entre os vários tipos de redes ópticas baseia-se no esquema de multiplexagem utilizado: multiplexagem por divisão no comprimento de onda (WDM), ou multiplexagem óptica por divisão no tempo (OTDM). As redes WDM podem ainda subdividir-se em: ligações ponto-a-ponto, redes de acesso, redes de difusão e selecção, e redes com encaminhamento no comprimento de onda.

As **ligações ponto-a-ponto** com WDM não constituem uma rede no sentido usual, tratando-se apenas do subsistema de transmissão. O interesse por este tipo de sistemas surgiu com a introdução dos amplificadores de fibra dopada com érbio. As aplicações da tecnologia WDM no subsistema de transmissão incluem o aumento da

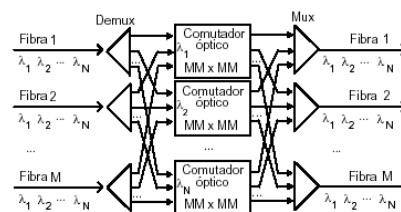


capacidade e transmissão em sistemas de longa distância e a resolução de problemas de exaustão de rotas em MANs.

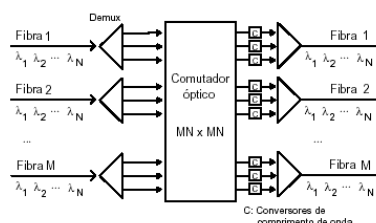
Nas **redes de acesso**, uma parte da ligação é dividida de forma a abranger várias localizações (casas, edifícios), requerendo equipamento simples nestas. São possíveis várias topologias dependendo da tecnologia utilizada: linha de assinantes digital assimétrica (ADSL) e DSL de muito alta velocidade (VDSL) sobre cobre ou sem fios, ligação híbrida entre fibra óptica e cabo coaxial (HFC), ou redes ópticas passivas (PONs). Neste contexto, interessa o último caso, o qual tem especial interesse no caso de redes de acesso de banda larga.

As **redes de difusão e selecção** baseiam-se num acoplador passivo em estrela interligando as várias estações numa topologia em estrela. Estas redes apresentam duas desvantagens, além do elevado custo que é um problema actual de todas as redes ópticas. A primeira desvantagem resulta do facto de a potência óptica emitida por cada estação ser difundida para todas as estações receptoras, o que representa um enorme desperdício, no caso de o número de estações ser elevado. Além disso, o número de estações que a rede pode suportar está directamente relacionado com o número de comprimentos de onda disponíveis, não permitindo que o número de estações seja muito elevado. Para a largura de banda disponível em subsistemas de transmissão usando amplificadores ópticos, o número máximo de estações que é possível interligar actualmente é da ordem de uma centena.

No entanto, é possível construir **redes ópticas** sem as limitações anteriores, se as várias ligações WDM forem interligadas num nó através de um subsistema de comutação (também designado **por encaminhador de comprimentos de onda**). Cada encaminhador de comprimentos de onda toma as decisões de encaminhamento com base no porto de entrada e no comprimento de onda. O encaminhamento no comprimento de onda é realizado através da implementação nos nós da rede de elementos selectivos no comprimento de onda. Na figura seguinte representa-se, em diagrama de blocos, um encaminhador de comprimentos de onda. Esta configuração é designada por conector de cruzamento re-configurável, a qual pertence à família dos conectores de cruzamento selectivos no comprimento de onda. Usando esta configuração, cada comprimento de onda em qualquer fibra à entrada pode ser interligado a qualquer fibra à saída desde que esse comprimento de onda não esteja já a ser utilizado na fibra de saída.



Na família de conectores anterior, os conectores de cruzamento seleccionam os comprimentos de onda e rearranjam-nos no domínio espacial. Uma outra família de conectores de cruzamento, a qual é designada por conectores de cruzamento com permuta de comprimentos de onda, foi recentemente definida para permitir conexão cruzada no domínio espacial e no domínio do comprimento de onda. Uma configuração deste tipo encontra-se representada na figura abaixo.



Esta configuração permite que qualquer comprimento de onda de qualquer fibra à entrada seja interligado a qualquer comprimento de onda de qualquer fibra à saída. Antes de ser multiplexado na fibra de saída, cada

comprimento de onda é permutado para um comprimento de onda apropriado (disponível). Este tipo de configurações, pelo facto de incorporarem conversores de comprimentos de onda, são bastante mais dispendiosas que as da família anterior.

## 4. TECNOLOGIAS DE CAMINHOS ÓPTICOS

Comparemos agora, as tecnologias que permitem realizar caminhos ópticos: caminhos ópticos ATM, e caminhos ópticos de comprimento de onda virtuais (VWP) ou não (WP).

Os caminhos ópticos podem ser divididos em duas categorias. Uma categoria inclui os caminhos ópticos que transportam o formato célula/pacote, e que são geralmente designados por *caminhos ópticos ATM*. A outra categoria inclui os caminhos que suportam todos os modos de transferência electrónica, tais como STM ou ATM, e são designados por *caminhos de comprimento de onda*. Estes podem ser virtuais, se forem utilizados dispositivos com capacidade para permutar comprimentos de onda. Na Tabela II apresenta-se, de forma resumida, uma comparação entre caminhos ópticos ATM e caminhos ópticos de comprimento de onda.

TÓPICOS DE COMPARAÇÃO	CAMINHO ÓPTICO ATM (MULTIHOP)	WP/VWP
Formato de transmissão no nível de caminho eléctrico	Célula ATM	Basicamente, sem restrições
Encaminhamento de células entre nós	Encaminhamento no comprimento de onda + Conector de cruzamento ATM eléctrico	Encaminhamento no comprimento de onda
Capacidade de processamento (throughput)	Pequeno	Grande
Custo da interface óptica	Pequeno	Grande
Número de comprimentos de onda necessários na rede	Pequeno	Grande
Utilização de recursos da rede	Baixo	Elevado
Processamento a nível do caminho eléctrico	Maior	Menor
Atraso de transporte	Grande (multihop via vários nós)	Pequeno

São vários os benefícios resultantes do uso das tecnologias de caminho óptico. De entre eles pode salientar-se, de forma muito resumida, os seguintes:

1) **Aumento da capacidade de transmissão** resultante da utilização da tecnologia WDM na camada de meio físico. Foram já relatadas experiências de transmissão com capacidade de 2.6 Tbit/s.

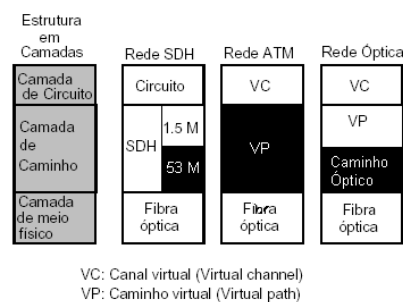
2) **Elevada capacidade de processamento** em conectores de cruzamento ópticos. O engarrafamento (*bottleneck*) durante o processamento eléctrico pode ser eliminado pela utilização do encaminhamento no comprimento de onda de caminhos em nós com conectores de cruzamento, uma vez que a capacidade de processamento total de um conector de cruzamento de caminhos ópticos é muito superior à capacidade de processamento de conectores de cruzamento eléctricos TDM, além de que o *hardware* pode ser simplificado, dado que não é necessária sincronização entre os vários caminhos ópticos.

3) **Flexibilidade no fornecimento de serviços**. Na Fig. 2 encontrava-se representada a possível posição das redes ópticas uma arquitectura geral de rede de banda larga. Conforme se mostrava na figura, uma rede óptica poderá suportar serviços de pacotes directamente, ou através da camada ATM, ou através da arquitectura ATM sobre SDH, entre outras possibilidades. No estado actual da investigação em redes de comunicação por fibra óptica, a tecnologia de comutação por circuitos encontra-se numa fase de maior maturidade em relação à tecnologia de comutação por pacotes, devido ao facto de, nesta última, serem necessárias memórias dinâmicas (*buffers*) em tecnologia óptica de complexa implementação. Tem sido feito um enorme esforço para investigar e desenvolver memórias ópticas de acesso aleatório (RAM óptica), mas até agora este esforço tem-se revelado infrutífero. Uma alternativa é usar linhas de atraso baseadas em fibras ópticas incorporando componentes ópticos adicionais para realizar *buffers* ópticos.

4) **Redução do custo por bit** em redes de banda larga. O uso da tecnologia WDM na camada de meio físico, com o objectivo de aumentar a capacidade de transmissão, reduz fortemente o custo da transmissão por bit. Quando a tecnologia WDM é usada na camada de caminho óptico, todo o tráfego, excepto o que termina nesse nó, é interligado no nível óptico usando encaminhamento no comprimento de onda, o que elimina o engarrafamento durante o processamento eléctrico, permitindo uma redução do custo do nó.

5) **Plataforma Óptica.** As tecnologias de transmissão estão a evoluir do PDH e SDH para o ATM. A camada de caminho óptico não impõe qualquer restrição ao formato de transmissão dos caminhos eléctricos (células ATM, tramas SDH).

6) **Restauração de falhas com caminhos ópticos.** Na próxima figura representa-se a arquitectura de redes SDH, ATM e redes ópticas em que a alocação da função de restauração da rede está assinalada a negro (camada de protecção de serviço). Se a camada de caminho óptico for utilizada, a maior parte dos sistemas de restauração da rede serão usados em redes com diferentes modos de transmissão, enquanto que a detecção de falhas e o esquema de notificação serão específicos para cada tipo de rede.



**NOTA:**

A multiplexagem por divisão no comprimento de onda (WDM) usada em conjunto com encaminhamento no comprimento de onda constitui um mecanismo promissor para transporte de informação nas futuras redes totalmente ópticas (AONs). O uso da tecnologia WDM na camada de caminho (path) permite não só um aumento significativo da capacidade de transmissão, mas também um aumento da capacidade de processamento (throughput) dos nós de cruzamento (cross connect nodes) através do encaminhamento no comprimento de onda dos caminhos ópticos, eliminando o problema do engarrafamento (bottleneck) durante o processamento eléctrico. Ao contrário das redes de difusão e selecção, as redes com encaminhamento no comprimento de onda (WRONs) oferecem vantagens por serem escaláveis e permitirem a reutilização de comprimentos de onda, estando por isso especialmente vocacionadas para redes de área metropolitana (MANs) ou de área alargada (WANs).

## 5. STANDARDS PARA REDES LOCAIS (LAN)

Com 3 standards diferentes para LANs, muitas organizações colocam a seguinte questão: Qual é a que deverá ser instalada? Vejamos o que cada umas delas possui de forte e de fraco.

Para começarmos, valerá a pena notar que os 3 standards de LAN utilizam tecnologia aproximadamente igual e obtêm um desempenho bastante semelhante.

- Vejamos as vantagens do **802.3**. É de longe o mais utilizado no presente. O algoritmo é simples. As estações podem ser instaladas num abrir e fechar de olhos, sem necessidade de se desactivar a rede. O *delay* para cargas baixas é praticamente zero.

Por outro lado, possui uma substancial componente analógica, responsável pela detecção de colisões e um *overhead* considerável, quando o dado é simplesmente um único carácter munido de um terminal.

Mais ainda, o standard 802.3 é não determinístico, o que muitas vezes não é a melhor solução para situações em tempo real. Não possui prioridades. O comprimento do cabo está limitado a 2.5 Km (quando são utilizados repetidores). A obtenção de redes CSMA/CD tal como a 802.3 a correr a altas velocidades é difícil e à medida que a velocidade aumenta, a eficiência diminui ou porque o tempo de transmissão da trama baixa, mas não o intervalo de contenção.

Para cargas elevadas, a presença de colisões torna-se um grave problema e pode afectar significativamente o *throughput*. Mais ainda, não se adapta bem ao uso de fibra óptica devido à dificuldade de instalação dos *taps*.

- Consideremos agora o 802.4, o **token bus**. Utiliza cabo de TV que se encontra em qualquer virar de esquina. É mais determinístico que o 802.3. Suporta prioridades e pode assegurar uma parte da largura de banda para tráfego de alta prioridade.

Como inconvenientes, temos o facto de utilizar muito engenharia analógica, incluindo modems e amplificadores de banda larga. O protocolo é extremamente complexo e possui um atraso substancial em baixas cargas. Finalmente é muito pouco indicado para utilização de fibras ópticas.

- Consideremos agora o **token ring**. Utiliza ligações ponto-a-ponto, o que significa que a engenharia é simples e totalmente digital. Os anéis podem ser construídos utilizando virtualmente qualquer tipo de meio. O standard par trançado é económico e fácil de ser instalado. A utilização dos *wire centers* tornam o *token ring* a única LAN capaz de detectar e eliminar falhas de cabos de uma forma automática.

Tal como no *token bus*, é possível existirem esquemas de prioridades. Os tamanhos das tramas são apenas limitados pelo *time-holding time*. O *throughput* e a eficiência em carga elevada são excelentes, tal como no *token bus* e ao contrário do 802.3.

O principal senão é a presença de uma função de monitorização centralizada, o que introduz uma componente crítica no sistema.

Se analisarmos os estudos feitos sobre estes 3 standards verificamos ser difícil tirar grandes conclusões. É sempre possível encontrar um conjunto de parâmetros que tornam uma das redes mais atraente do que as outras.

O único dado indiscutível é o de que uma rede 802.3 sobrecarregada está condenada ao colapso, mas que um sistema *token-based* na mesma situação terá uma eficiência próxima dos 100%.

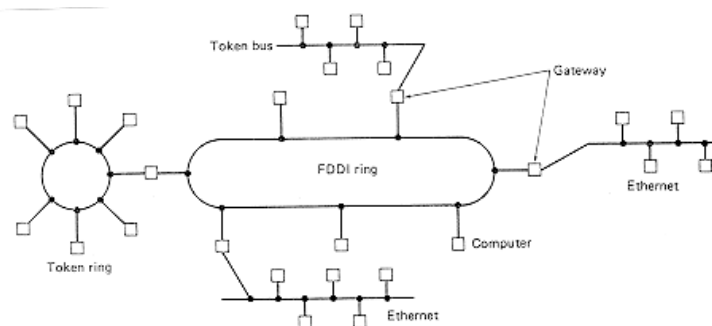
Para situações em que se pretende uma rede sobrecarregada, a solução 802.3 deve ser posta de parte. No caso em que se prevê uma média carga ligeira, qualquer uma delas é uma boa solução, de modo que outros factores, para além da performance, terão de ser considerados.

## 6. REDES LOCAIS DE FIBRAS ÓPTICAS

As três redes LAN 802 a que acabamos de fazer referencia, são todas baseadas no meio físico cobre. Contudo, conforme já referido anteriormente, as fibras ópticas têm vindo a despertar um interesse cada vez maior, não só por permitir *links* ponto-a-ponto mais distantes, como também pela sua elevada largura de banda, espessura e peso, o facto de não ser afectada pelas interferências electromagnéticas e segurança (já que é difícil a introdução de *taps* sem detecção). Vejamos algumas redes que utilizam exclusivamente fibra óptica ou então em simultâneo com o cobre.

### FDDI

Trata-se duma rede *token ring* de alta performance (FDDI – ANSI X379.5 – Fiber Distributed Data Interface) que corre a 100Mbps em distâncias até os 200Km, com um número de estações que pode ir aos 1000. Pode ser utilizada do mesmo modo que qualquer outra rede 802, mas devido à sua elevada largura de banda, um uso comum para esta rede é o de servir de *backbone* para ligação de outras redes LANs em cobre, como se pode observar na Fig. XX.



FDDI utiliza fibras multimodo, já que não se justifica o custo adicional de fibras monomodo para correr apenas a velocidades de 100Mbps bem como se utiliza também LEDs e não lasers. As especificações da FDDI tendem para erros não superiores a 1 em  $2.5 \times 10^{10}$  bits.

A cablagem FDDI consiste em dois anéis de fibra, um transmitindo no sentido dos ponteiros do relógio e outro no sentido oposto. Se qualquer um deles se quebrar, o outro servirá de *backup*. Se ambos se quebrarem no mesmo ponto, por qualquer acidente, os 2 anéis poderão ser ligados num único anel, aproximadamente com o dobro do comprimento.

Cada estação contém *relays* que podem ser utilizados para ligar 2 anéis ou fazer o *bypass* duma estação em caso de problemas com a mesma. Wire Centers podem igualmente ser utilizados, tal como na 802.5.

A FDDI define 2 classes de estações, A e B. Estações de classe A ligam-se a ambos os anéis. As estações mais económicas da classe B apenas se ligam a um dos anéis. Dependendo da importância da tolerância de falha, uma instalação poderá ter apenas estações de classe A, classe B ou de ambas.

Em vez duma codificação Manchester (demasiado cara) é utilizado um esquema denominado por *4 out of 5*. Cada grupo de 4 símbolos MAC (0s, 1s e alguns símbolos, sem ser dados, tal como início de trama) é codificado como um grupo de 5 bits. 16 das 32 combinações são para dados, 3 para delimitadores, 2 para controlo, 3 para sinalização de hardware e 8 não são utilizadas.

A vantagem deste esquema é o de poupar largura de banda, mas a desvantagem é a perda da facilidade de *self-checking* oferecida pela codificação Manchester. Para se compensar esta limitação, é utilizado um longo

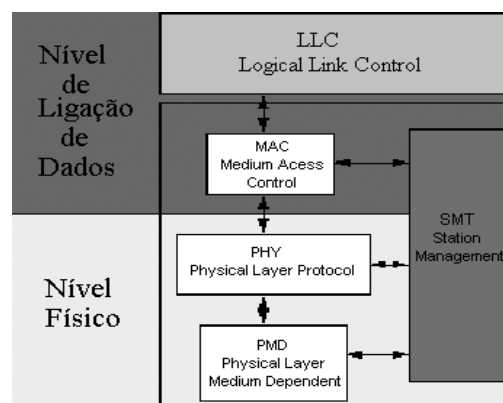
preâmbulo para sincronizar o receptor com o clock do emissor. Mais ainda, exige-se que os *clocks* possuam uma estabilidade inferior a 0.005%. Com este nível de estabilidade é possível o envio de 4.500 bytes de rajada, sem se perder o sincronismo entre o emissor e o receptor.

Os protocolos básicos FDDI estão modulados nos 802.5. Para transmitir dados, a estação deverá primeiramente capturar o *token*. Uma diferença entre o FDDI e o 802.5 é que neste uma estação não pode gerar um novo *token* até que a sua trama tenha percorrido todo o anel e regressado. No FDDI, com a potencialidade de possuir 1000 estações e 200Km de fibra, a quantidade de tempo desperdiçada à espera que a trama circule à volta do anel poderia ser substancial. Por esta razão, foi decidido que uma estação poderá colocar o *token* no anel logo que tenha transmitido as suas tramas.

O FDDI permite tramas de dados similares ao 802.5, incluindo os bits de confirmação no byte de status da trama.

Os protocolos que definem o FDDI são:

- PMD (Physical Layer Medium Protocol) – Especifica os componentes ópticos utilizados, as características dos transmissores, dos receptores ópticos e os sinais de interface.
- PHY (Physical Layer Protocol) – Define as regras de codificação e decodificação dos sinais recebidos, especifica o sincronismo dos relógios e das tramas de dados.
- MAC (Medium Access Control) – Define as regras de acesso ao meio, de endereçamentos e de verificação de dados, é responsável pelo encapsulamento e formação da trama.
- LLC (Logical Link Control) – Define as regras para a troca de informação em serviços com conexão, sem conexão/sem reconhecimento e sem conexão/com reconhecimento. Este protocolo segue o mesmo padrão do IEEE 802.2 (Token Ring).
- SMT (Station Management) – Define o controlo das operações das estações do anel, gerindo as configurações (manutenção, isolamento e recuperação de falhas, administração de endereços, etc), gerindo as ligações (alocação de banda, etc) e o anel em si (iniciação, monitorização, controle de erro, de token e de prioridades, etc).

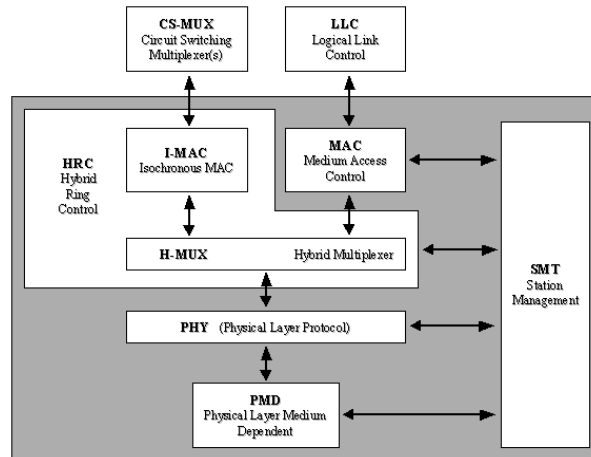


## **FDDI II**

FDDI II é um conjunto de protocolos oriundos de FDDI que possuem o mesmo objectivo: a utilização de tecnologia de fibra óptica. A novidade encontrada no FDDI II é o acréscimo de um serviço isócrono que a caracteriza como uma rede híbrida. Esta rede possui uma estrutura de 16 canais de banda larga que podem ser usados como canais isócronos. A taxa máxima de transmissão em cada canal é igual a 98,304 Mbps.. Um canal residual não isócrono de capacidade de 1 Mbps permanece, para uso dos serviços síncrono e assíncrono, mesmo que os 16 canais isócronos estejam alocados. Canais de banda larga podem ser alocados e desalocados em tempo real, para serviços isócronos, com a banda passante de qualquer canal não alocado sendo acrescida à do canal não isócrono.

FDDI II é iniciada de forma idêntica a uma FDDI, sendo totalmente compatível com esta, no caso de não alocação de canais isócronos. A presença na rede de qualquer estação que não opere o FDDI II, impede a alocação de canais isócronos e, assim, a activação do modo FDDI II.

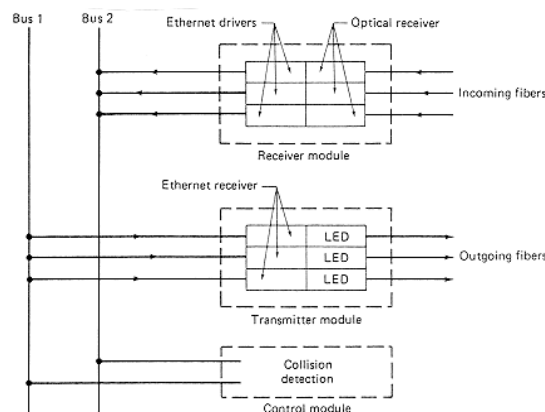
A figura abaixo mostra a arquitectura de protocolos da rede FDDI II. Todo o controle dos canais isócronos é realizado através do protocolo I-MAC, cabendo ao protocolo H-MUX a multiplexagem dos serviços isócronos e não isócronos para entrega ao nível físico. Os protocolos utilizados, são portanto, os mesmos do FDDI.



## **FIBERNET II**

A especificação de redes locais (LAN) Fibernet II foi desenvolvida por pesquisadores da Xerox (em 1983) com a intenção de criar um padrão compatível com a Ethernet na interface com o *transceiver*, de forma que as estações poderiam ser ligadas a ela usando o cabo para o *transceiver* já existente.

A parte difícil de se construir qualquer rede CSMA-CD com fibras ópticas é conseguir que a detecção de colisões funcione. São possíveis diversos métodos, usando a configuração de estrela passiva. Existem vários métodos usando a seguinte configuração:



Os métodos desenvolvidos são:

- Detecção da potência de transmissão: Se uma estação detecta maior potência de transmissão do que está a emitir, a sua transmissão deve estar a colidir com a de outra estação.
- Largura do impulso: Se duas estações colidem, a largura do impulso é maior do que a do impulso de saída. Essa diferença pode ser detectada.
- Atraso Temporal: Quando duas estações colidem, a que transmitiu por último receberá a transmissão de vinda da primeira, antes que o seu próprio sinal retorne. Essa diferença pode ser detectada.

- Acoplamento direccional: É possível projectar-se o equipamento de transmissão e recepção de forma que um receptor não receba as suas próprias transmissões. Quaisquer transmissões devem, portanto, ser colisões.

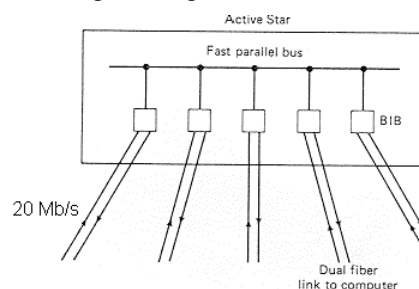
Todos esses métodos são de implementação complicada. Além disso, configurações em estrela passiva enfraquecem bastante o sinal, dado que a potência deve ser dividida entre todas as linhas de saída. Como consequência, desenvolveu-se o esquema de estrela activa, na qual cada *transceiver* possui fibras ponto a ponto que vão à estrela central, uma para entrada e outra para a saída.

Na estrela, cada sinal óptico de entrada é convertido em um sinal eléctrico, processado electronicamente e, então, reconvertido em um sinal óptico para ser transmitido na fibra de saída. Cada fibra de entrada é ligada a um acoplador electro-óptico que converte o fluxo de impulsos de entrada oriundo da fibra num sinal eléctrico. Esse sinal alimenta um pequeno driver CSMA-CD ordinário. Se não há colisão, o único sinal de entrada é transferido para um segundo barramento interno em que atua o módulo de transmissão.

O sinal de entrada é difundido para todos os *transceiver* modulando-se os LED individuais de cada um. Esse esquema não requer a divisão da potência de entrada em N partes para dividi-la entre os N *transceiver*. Cada *transceiver* recebe toda a potência.

### S/NET

S/NET (Ahuja, 1983) é uma outra rede em fibra óptica com um estrela activa para a comutação. Foi desenhada e implementada nos laboratórios Bell. O objectivo desta rede, ao contrário do FIBERNET II, foi a de conseguir uma comutação muito rápida. A seguinte figura ilustra a estrutura da estrela activa.



Cada computador na rede possui fibras a 20 Mbps indo até o comutador, um para entrada e outro para saída. As fibras terminam numa BIB (Bus Interface Board). Cada CPU possui um registo de I/O que funciona como uma janela de uma palavra na memória da BIB.

Quando uma palavra é escrita no registo, a placa de interface no CPU transmite os bits em sequência pelas fibras até a BIB, onde são reagrupados na forma de uma palavra na memória. Quando toda a trama a ser transmitida tiver sido copiada na memória da BIB, o CPU escreve um comando para um outro registo de I/O, que faz com que o comutador copie a trama para a memória da BIB de destino e envie uma interrupção para o CPU correspondente.

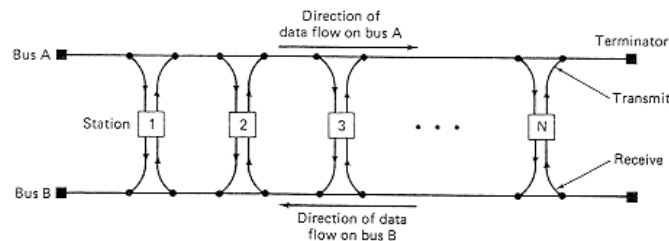
O acesso ao barramento é feito através de um algoritmo de prioridades. Cada BIB tem uma prioridade única. Quando uma BIB deseja aceder ao barramento, insere um sinal no barramento correspondente à sua prioridade. Os pedidos são registados e atendidos em ordem de prioridade, com uma palavra de (16 bits em paralelo) sendo transferida por vez. Quando todos os pedidos são atendidos, uma outra sequência de pedidos é iniciada e as BIB's podem requerer novamente o acesso ao barramento. Não são perdidos ciclos do barramento devido à contenção; portanto, a velocidade de comutação é de 16 bits a cada 200 ns, ou 80Mbps.



### **FASNET**

A Fasnet é uma rede de alta performance adequada para utilização como uma LAN ou MAN. Foi desenvolvida nos laboratórios Bell entre 1983 e 85.

Utiliza 2 bus lineares unidireccionais, como mostra a próxima figura. Cada estação liga-se a ambos os bus e pode enviar ou receber em qualquer um deles. Quando uma estação pretende enviar ou transmitir uma trama para uma estação com um número superior, transmite no bus A; caso contrário fá-lo através do bus B. As estações N e 1 desempenham um papel importante.



Cada estação liga-se a ambos os barramentos e pode transmitir e receber em qualquer um.

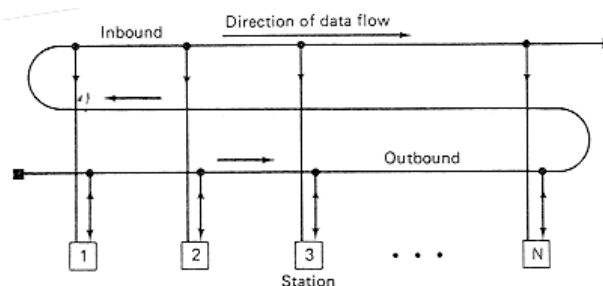
Quando deseja transmitir uma trama para uma estação com número maior, a estação transmite no barramento A; quando deseja transmitir para uma estação com número menor, transmite no barramento B. As estações 1 e N desempenham um papel especial nessa rede: um ciclo de transmissão inicia-se quando a estação 1 começa a transmitir uma sequência de slots no barramento A e a estação N começa a transmitir uma sequência idêntica no sentido oposto, no barramento B. São esses slots que fornecem a sincronização ao barramento. Outras estações sincronizam as suas transmissões com eles, à medida que se propagam. Os slots são sequências nas quais os dados podem ser carregados.

Quando uma estação que deseja transmitir para outra estação com numeração maior detecta o início de sequência no barramento A, espera até que o primeiro slot vazio passe por ela. A estação então liga um bit no primeiro byte do slot marcando-a como ocupada e coloca os endereços de origem e de destino, assim como os dados, no slot. Se os dados não cabem num único slot, vários slots consecutivos podem ser alocados. Quando a estação de destino vê a trama, ela apenas a copia para a sua memória, deixando os slots no barramento ainda marcados como ocupados. Um mecanismo análogo é usado no barramento B.

Quando uma estação em qualquer dos barramentos detecta um fim de uma sequência, envia uma trama de sinalização pelo outro barramento. Quando ela chega, uma nova sequência é iniciada. O intervalo entre os envios de sequência em qualquer barramento é igual ao tempo total de propagação mais o tempo necessário para transmitir todas as tramas naquele ciclo.

### **EXPRESSNET**

A Expressnet é similar à Fasnet em múltiplos aspectos. Contudo em vez de utilizar 2 bus, utiliza apenas 1 como se pode observar na seguinte figura.



Ao contrário da Fasnet, que é síncrona (a primeira estação em cada barramento gera uma sequência completa e as outras estações devem alinhar os seus relógios com o dela), a Expressnet é assíncrona. Quando

uma estação tem uma trama para transmitir, ela escuta o canal de entrada, para ver se o cabo está em uso. Se estiver, a estação simplesmente espera até que o cabo fique desocupado. Neste momento, a estação envia a sua trama no final, para formar uma sequência. Quando a sequência chega à entrada, é aceite pela estação à qual é endereçada.

Devido ao tempo de propagação diferente de zero, pode ocorrer um problema se duas estações (p.e. 2 e 3) tentam transmitir simultaneamente. Uns poucos microssegundos depois da estação 3 começar a transmitir, a frente da trama da estação 2 chega ao canal de saída e colide com a trama da estação 3. Para lidar com esse problema, todas as estações monitorizam o canal de saída e terminam a transmissão instantaneamente se elas detectam uma trama dum estação com numeração inferior chegar pela esquerda. Implicitamente, esse algoritmo resolve colisões favorecendo a estação com numeração menor, mas também baralha alguns bits no início das suas tramas.

Um outro aspecto relevante de comparação com a Expressnet, é o fato da Fasnet necessitar de ligações em cada um dos dois cabos, enquanto a Expressnet requer 2N conexões num cabo, uma diferença potencialmente significativa com fibras ópticas dado que as ligações têm perdas. Finalmente, o tempo de propagação de uma trama da estação 1 à estação N é três vezes maior na Expressnet do que na Fasnet.

### **HIPPI**

A tecnologia de redes de fibras ópticas de alta velocidade não estagnou. Assim, este trabalho apresentou também um tipo de rede de ponta, o HIPPI. O HIPPI (High Performance Parallel Interface) é um padrão de rede ANSI que está a ser utilizado com mais frequência no mercado cliente-servidor de alta velocidade.

Com o HIPPI é possível transferir dados a uma taxa de até 1,6Gbps, permite usar fibras monomodais e multimodais percorrendo dezenas de quilómetros. Para se ter uma ideia da velocidade, a performance de uma rede HIPPI chega a ser de seis a dez vezes maior que a do FDDI.

É suportado pela maioria dos supercomputadores e workstations e todos os barramentos padrão de mercado. Além disso, trabalha com outras tecnologias de LAN e WAN como FDDI, ATM, SONET, TCP/IP e outros.

Como era de se esperar, uma tecnologia de ponta como o HIPPI auxilia hoje aplicações extremamente complexas, como animação e efeitos especiais para filmes, imagens médicas, análises sísmicas para companhias de energia, modelagem molecular de remédios, dinâmica de fluidos em tecnologia aeroespacial, análise estrutural de veículos e projecto de componentes para firmas de electrónica.

### **FIBRE CHANNEL**

O fibre channel é um padrão de comunicação desenvolvido para oferecer transferência de dados a alta velocidade por uma interface serial duplex. É um padrão aberto que suporta múltiplos protocolos, incluindo alguns de alto nível como o FDDI, SCSI, HIPPI e IPI para gerir a transferência de dados. Embora possa operar de 133Mbps a 4 Gbps, ele é mais utilizado com velocidades de 1 ou 2 Gbps. Um grupo que desenvolve essa tecnologia anunciou que velocidades de 10 Gbps estão previstas para o presente ano, 2002.

O fibre channel foi inicialmente desenvolvido em 1988, e foi aceite como um padrão pela ANSI em 1994.

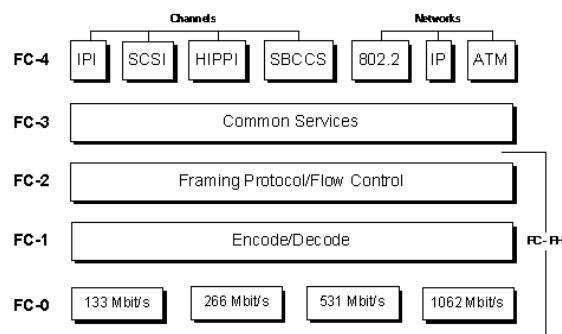
Este padrão baseado em hardware combina o melhor do canal e do método de comunicação de rede numa interface tipo I/O. Estando o link PPP concentrado no hardware, o mesmo se torna mais rápido e tem um menor overhead, como na tecnologia SCSI, como também, usufrui dos benefícios da conectividade e da longa distância oferecida pela tecnologia de rede concentrada em software.

Fibre channel é utilizado na transferência de grandes volumes de dados entre supercomputadores, mainframes, estações de trabalho, dispositivos de armazenamento, displays e outros periféricos. O fibre channel oferece segurança, escalabilidade, fluxo de dados sem congestionamento, largura de banda Gigabit, compatibilidade com várias topologias e protocolos, controle de fluxo, auto gestão, hot swap, velocidade, excelente custo/benefício, elasticidade e distância. É ideal para operações com grandes quantidades de dados como internet/intranet, armazenamento de dados, áudio/vídeo integrados, programação em tempo real, serviços on-line e imagens.

Actualmente, a aplicação mais popular para esta tecnologia é para SANs (Storage Area Networks). Métodos independentes de gestão de armazenamento centralizado até o SAN (ex: RAID, fitas backup, CD-ROM library, etc.) são mais eficientes com um backbone fibre channel.

Existem 3 formas de conexão para o fibre channel. Em todos a topologia de rede é transparente aos equipamentos interligados. *Point to point* é a topologia mais simples, que utiliza links bidirecionais entre dois dispositivos interligados. *Arbitrated loop* é a topologia mais comum e mais complexa. É possível interligarem-se até 126 dispositivos num meio partilhado e oferecendo largura de banda partilhada. Duas portas do loop estabelecem comunicação ponto a ponto full duplex através de intermediação entre todas as portas. *Cross point ou fabric switched* é uma topologia que utiliza endereçamento de 24 bits para interligar até  $2^{24}$  dispositivos, ele permite que muitos dispositivos se comuniquem ao mesmo tempo sem requerer partilha do meio.

O protocolo fibre channel é dividido em cinco camadas hierárquicas. As três camadas inferiores (FC-0 - FC-2), definem o padrão de transmissão física e as outras duas endereçam as interfaces com outros protocolos de rede.



**FC-0:** camada de interface e meio que definem o link físico.

**FC-1:** camada de codificação/descodificação e transmissão. A informação é codificada em 8 bits por vez num carácter de transmissão de 10 bits (8bit/10bit da IBM)

**FC-2:** Camada de protocolo de sinalização, que serve como mecanismo de transporte preparando a sinalização básica e o empacotamento. FC-2 é subdividida nas seguintes classes de serviços:

- Classe 1 fornece conexões dedicadas. Intermix é um tipo de serviço classe 1 opcional que garante uma parte especial da largura de banda aos pacotes classe 1.
- Classe 2 é um serviço de empacotamento comutado. Também é conhecido como multiplex. Garante a entrega e confirma a recepção dos pacotes.
- Classe 3 é um serviço de empacotamento comutado one to many. É similar ao classe dois utiliza controlo de fluxo buffer to buffer e não confirma a entrega de pacotes.

**FC-3:** Camada de serviços comuns, provê os serviços comuns requeridos para configurações avançadas como listagem, busca de grupos e multicast.

**FC-4:** Camada mais alta para mapeamento de protocolo de rede e canal de transmissão de dados concorrentemente sobre a mesma interface física.

## 7. SUMARIAMENTE, AS TRÊS GERAÇÕES DE LANS

### Primeira

- CSMA/CD e token ring
- Terminal-to-host e cliente-servidor
- Taxas de transmissão moderadas

### Segunda

- FDDI
- Backbone
- Workstations de alta performance

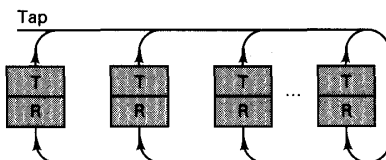
### Terceira

- ATM
- Agregação de tráfego e de suportes em tempo real para aplicações multimédia

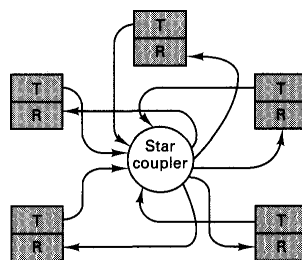
O **ATM** é actualmente uma alternativa de melhor desempenho, permitindo 155Mbps de velocidade, o que torna viável aplicações com vídeo e voz em tempo real. As taxas de transmissão de dados do ATM em redes locais são escaláveis, inicialmente com valores tais como 25 Mbps até altas velocidades como 155 Mbps (mais comum), 622 Mbps e até a banda dos Gigabit (2.4Gbps, em fibra óptica). O ATM trabalha dividindo todo o tráfego em células, ou pacotes, de 53 bytes. O tamanho fixo do pacote permite que switches muito rápidos sejam construídos, e o pequeno tamanho dos pacotes assegura que frames de voz e vídeo possam ser inseridos no fluxo com frequência suficiente para transmissão em tempo real.

## 8. TOPOLOGIAS REAIS TÍPICAS DE INSTALAÇÃO EM REDES ÓPTICAS

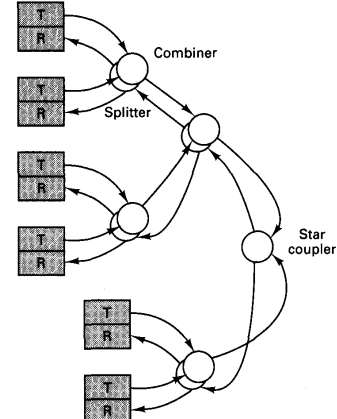
Bus



Estrela



Arvore



## 9. EXEMPLOS DE REDES LOCAIS PURAMENTE ÓPTICAS

### LAMBDANET

Apresentação da rede LAMBDANET(1990):

M. S. Goodman, "The LAMBDANET multiwavelength network: Architecture, applications, and demonstrations" IEEE Journ. on Selected Areas in Communications, vol. 8, pp. 995 - 1004, 1990

Companhia responsável pela implementação: Bellcore

Tipo de Rede: FT - FR M (transmissor fixo – receptor fixo)

Designação: Single-Hop WDMA Network

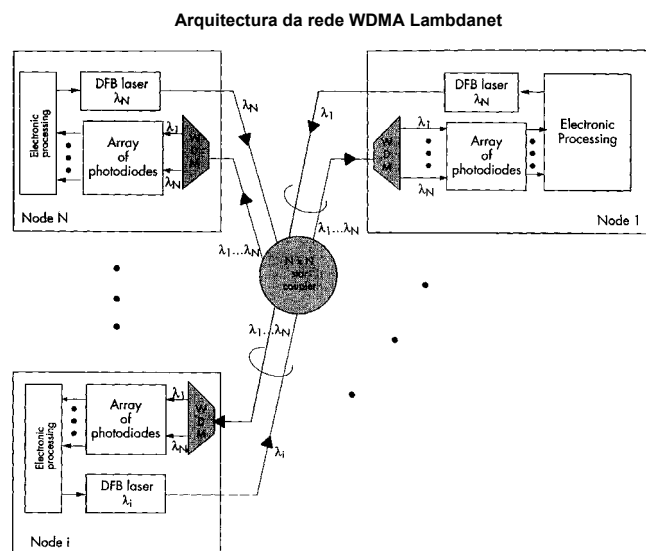
Parâmetros de realização de rede:

- Numero de nós - 18
- Taxa de transmissão – 1,5 Gbps
- Extensão - 57,5 km

Todas as estações estão equipadas com um laser de comprimento de onda fixo e M receptores

Vantagens – simplicidade de implementação

Desvantagens – todos os nós tem de estar equipados com n fontes, problema este que pode ser resolvido com o recurso a tecnologias óptoelectrónicas integradas



### RAINBOW

Apresentação das redes Rainbow I (1990) e Rainbow II (1996) :

- Rainbow I: N. R. Dono, "A wavelength division multiple access network for computer communication" IEEE Journ. on Selected Areas in Communications, vol. 8, pp. 983- 993, Aug. 1990
- Rainbow II: E. Hall, "The Rainbow- II Gigabit optical network" IEEE Journ. on Selected Areas in Communications, vol. 14, pp. 814- 823, June 1996

Companhia responsável pela implementação: IBM

Tipo de Rede : FT – TR (transmissor fixo – receptor sintonizável)

Designação: Single-Hop WDMA MAN

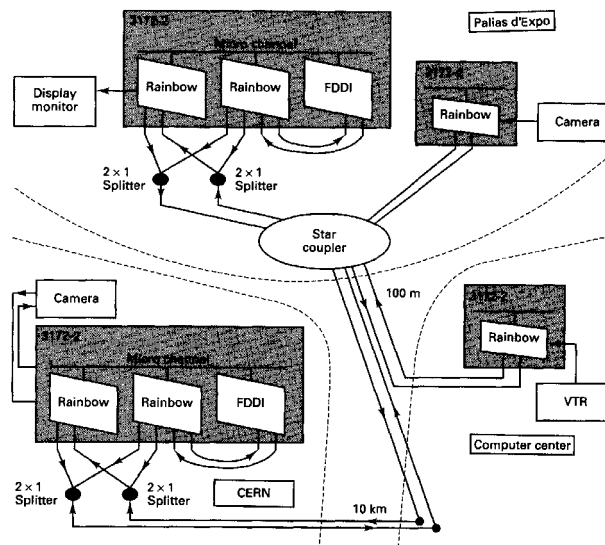
Parâmetros de rede:

- Numero de nós- 32 IBM PS/ 2

- Taxa de transmissão - 200 Mb/ s
- Extensão - 10 - 20 km

Todas as estações estão equipadas com um laser de comprimento de onda fixo e um receptor sintonizável

Topologia de rede Rainbow I



### **FAST OPTICAL CROSS-CONNECT (FOX)**

Apresentação da rede FOX(1986):

E. Arthurs, "Multiwavelength optical crossconnect for parallel- processing computers" Electronic Letters, vol. 24, pp. 119- 120, 1986

Implementação: 1988

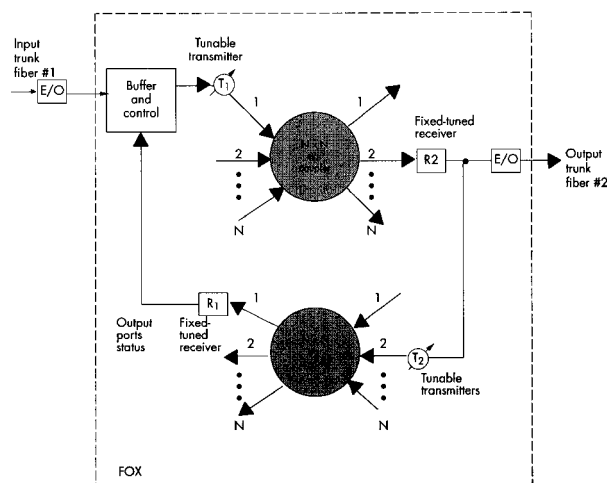
Tipo de rede: TT – FR (transmissor fixo – receptor fixo)

Designação: Singlehop WDMA

Configuração: dois *passive-stars*, um para os dados enviados pelos processadores dentro de blocos de memória, outro para o fluxo de dados em direcção oposta.

São utilizados computadores com processamento de dados paralelo e usados Lasers sincronizados como fontes com tempos de sincronização abaixo de uns poucos ns.

Topologia da rede FOX



**TERANET**

Apresentação da TERANET:

R.Gidron and A.Temple, “*TeraNet, a multihop multichannel ATM Lightwave network*,” Conf. Record, IEEE Intern. Commun. Conf., pp. 602-608, 1991.

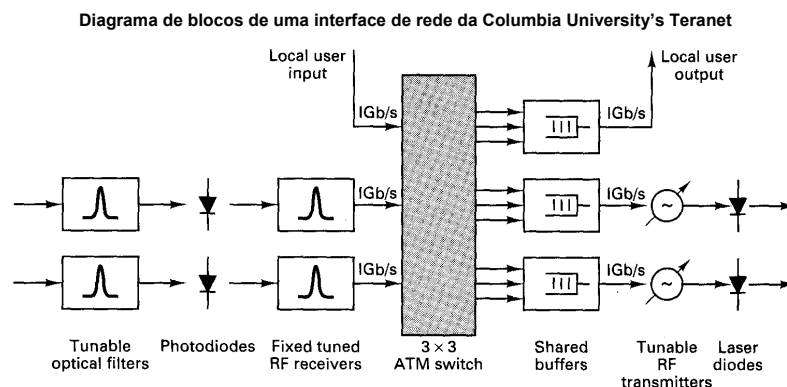
Tipo de rede: FT – TR (transmissor fixo – receptor sintonizável)

Implementada por: Columbia University

Designação: Multi-Hop WDMA

A Teranet é uma rede de 8 nós que usa o princípio multihop. Cada interface de rede possui 2 portas de entrada e 2 portas de saída, mais uma porta de utilizador full-duplex que assim permite a comutação de pacotes por meio do switch 3x3, que manuseia células ATM. O propósito da Teranet era demonstrar a comutação de células ATM a 1 Gbps (actualmente conseguem-se taxas de 1,25 Gbps devido ao uso do código de linha 4-out-of-five).

Para além da comutação de electrónica ATM usada para o encaminhamento de pacotes, o uso de receptores ópticos sintonizáveis, permite a reconfiguração da característica de conectividade da rede em reposta a falhas ou congestionamento nas ligações.

**STARNET**

Apresentação da rede STARNET:

T. K. Chiang, “*Implementation of STARNET: A WDM computer communications network*,” IEEE Journ. on Selected Areas in Communications, vol. 14, pp. 824- 839, 1996

Tipo de rede: FT – FR (transmissor fixo – receptor fixo)

Todos os nós contêm um transmissor e dois receptores a trabalhar com o mesmo comprimento de onda mas a diferentes taxas de transmissão

As redes STARNET são compostas por duas subredes virtuais:

- Rápida a 2, 5 Gbps. Rede com comutação de tramas
- Subrede de controlo mais lenta (125 Mbps), compatível com FDDI

Transmissores em todos os nós geram os dados para ambas as subredes. O detector “Slow” em cada nó é sintonizado de forma a ouvir a transmissão do nó anterior, gerando assim uma rede de tramas em anel unidireccional do tipo store-and-forward em tudo similar ao FDDI.

**HYPASS**

Apresentação da rede HYPASS:

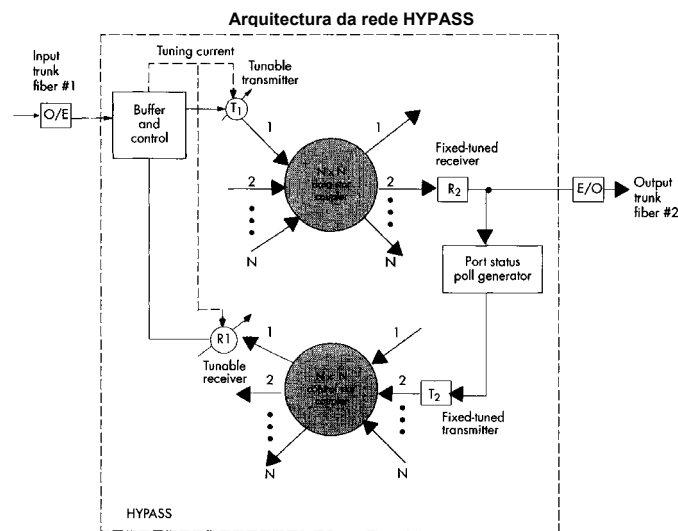
E. Arthurs, “*Hypass: An optoelectronic hybrid packet- switching system*” IEEE Journ. on Selected Areas in Communications, vo. 6, pp. 1500- 1510, Dec.1988

Tipo de rede: TT – FR (transmissor sintonizável – receptor fixo)

Implementação: 1988

Designação: Singlehop WDMA

O HYPASS, high-performance packet-switching, é uma extensão do sistema FOX que usa emissores laser sintonizáveis de alta velocidade, assim como também receptores sintonizáveis.



## 10. PROTOCOLOS DE ACESSO EM REDES ÓPTICAS

Apresentamos a seguir, resumidamente alguns dos métodos de acesso propostos para redes ópticas.

### SLOTTED-ALOHA/PA

O método de acesso Slotted-Aloha/PA (Polite Access) foi proposto para redes ópticas multicanal com topologia em estrela passiva.

Numa rede em estrela passiva ideal, a energia do sinal luminoso recebido através de uma das portas de entrada do nó central é dividida igualmente entre as portas de saída. Dessa forma, o acoplador da estrela passiva actua como um meio de difusão do sinal.

O método presume que os dispositivos transmissores e receptores podem ser sintonizados em qualquer canal multiplexado e receptores podem ser sintonizados em qualquer canal multiplexado da rede. São utilizados  $N$  canais para transmissão de dados e um canal de controlo. Cada canal é fisicamente implementado num dos comprimentos de onda do conjunto  $\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N\}$  e o canal de controlo é associado ao comprimento de onda  $\lambda_0$ . Todos os receptores ociosos monitorizam o canal de controlo  $\lambda_0$ . Os nós da rede podem transmitir e receber em qualquer um dos canais de dados e no canal de controlo. Para que ocorra uma comunicação, o receptor deve ser informado sobre o canal que será usado pelo transmissor para lhe enviar uma trama.

### TDMA-C

O método de controlo de acesso TDMA-C (Time Division Multiple Access With a Control channel) foi também desenvolvido para a topologia em estrela passiva.



O TDMA-C pressupõe que os nós possuem um transmissor sintonizável e dois receptores, um para monitorizar permanentemente um canal de controlo e o outro para ser sintonizado num dos canais de comprimento de onda usados para transmitir dados.

Cada nó adicionalmente possui um minislot dedicado, num ciclo no canal de controlo. Um minislot carrega o endereço do destinatário e o número do canal no qual uma trama será transmitida. As tramas possuem tamanho variável. Cada nó tem permissão para transmitir uma trama por ciclo.

Todos os nós mantêm duas tabelas que reflectem o estado dos nós de destino e dos canais de comprimento de onda, respectivamente. Essa informação é deduzida da observação dos minislots no canal de controlo.

Depois de inspeccionar as suas tabelas, um nó, que deseja transmitir, inicialmente sintoniza no canal de controlo e preenche seu minislot no sentido de avisar o nó receptor que lhe irá enviar uma trama através do canal especificado no minislot. Depois disso, o transmissor sintoniza no canal de comprimento de onda seleccionado e transmite uma trama.

Um nó ao identificar o seu endereço num minislot no canal de controlo, lê nesse mesmo minislot a identificação do canal de comprimento de onda que será usado pelo transmissor para lhe enviar uma trama e ajusta seu receptor para o referido comprimento de onda.

### **AMTRAC**

A rede AMTRAC é também multicanal, utilizando a topologia em double-bus.

Cada nó ajusta seu receptor num canal de comprimento de onda fixo. Um canal de recepção pode ser de uso exclusivo dum nó ou partilhado por alguns poucos nós.

Para transmitir, os nós seleccionam o canal do destinatário. O controle do acesso simultâneo a um mesmo canal é feito através de um mecanismo semelhante ao usado no CSMA/CA. O acesso é controlado por ciclos com duração constante consistindo em vários minislots ou pontos de escalonamento. Um nó possui um minislot em cada canal, embora a posição do minislot seja diferente em cada um deles. Os nós só podem começar a transmitir nos pontos de escalonamento definidos por seus minislots. Quando chega a vez dum nó, ele sente o meio e, se o canal onde ele deseja transmitir estiver livre, inicia sua transmissão. Se, por outro lado, o canal seleccionado estiver ocupado, devido a uma transmissão realizada por outro nó cujo minislot está posicionado anteriormente no ciclo, a estação não transmite e espera o próximo ciclo para verificar o estado do canal. Nesse ínterim, o nó pode tentar transmitir noutro canal para outro destinatário.

### **PIPELINE**

Na rede Pipeline cada nó transmite num comprimento de onda específico. A recepção é realizada através da sintonização no canal de comprimento de onda apropriado (definido pelo transmissor). A transmissão ocorre em slots.

Subcanais de controlo com baixa taxa de transmissão, são usados para evitar que duas tramas endereçadas ao mesmo destinatário sejam transmitidas em canais de transmissão diferentes simultaneamente. A informação transmitida nos subcanais de controlo também é utilizada para instruir o receptor sobre o comprimento de onda que ele deve sintonizar para receber a próxima trama.

Os subcanais de controlo podem ficar dentro dum canal de comprimento de onda partilhado por todos os nós, ou podem ficar espalhados nos canais de comprimento de onda dedicados dos nós. O acesso aos subcanais de controlo é baseado em slots que têm a mesma duração de tempo que os slots de dados.

Se um nó deseja transmitir, ele deve monitorizar os slots de controle do destinatário alvo no subcanal de controlo desse nó. Quando encontra um slot vazio, ele escreve nesse slot a informação de sintonização (o

comprimento de onda de seu canal de transmissão), transmitindo um segmento de dados no próximo slot do seu canal de transmissão.

O receptor ao receber a identificação de um canal de transmissão num de seus slots de controlo, sintoniza o seu dispositivo de recepção no comprimento de onda desse canal, e lê a trama transportada no próximo slot do canal.

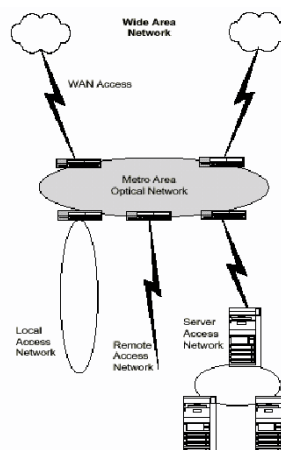
NOTA:

*Conforme verificado até aqui, fica bem óbvio que a solução óptima para construção de redes locais puramente ópticas é a topologia em estrela passiva com uma ligação Single-Hop. A tecnologia WDM possibilitará assim uma rentabilização máxima da largura de banda óptica.*

## 11. AS MANS ÓPTICAS E O 10 GIGABIT ETHERNET

Recentemente as MANs têm sido o maior alvo das transformações tecnológicas, sofrendo mudanças radicais na sua estrutura. Exemplo disso tem sido o desenvolvimento do 10 Gigabit Ethernet sobre a tecnologia DWDM na fibra óptica.

O desenvolvimento de tecnologia de ponta e tecnologia de fibra óptica combinada com os requisitos de novas aplicações, tem pressionado os servidores de serviços e fornecedores de infra-estrutura a melhorar os seus serviços, como ilustrado na figura seguinte:



### 10 GIGABIT ETHERNET

Em março de 1996 o comité IEEE 802.3 aprovou o projecto de padronização do padrão Gigabit Ethernet 802.3z. Cinquenta e quatro empresas expressaram interesse em participar deste projecto, mas apenas onze destas companhias constituíram a Aliança Gigabit Ethernet (GEA) em maio de 1996: 3COM Corp., Bay Networks Inc., Cisco Systems Inc., Compaq Computer Corp., Granite Systems Inc., Intel Corp., LSI Logic, Packet Engines Inc., Sun Microsystems Computer Company, UB Networks e VLSI Technology.

A Aliança Gigabit Ethernet possui os seguintes objectivos:

- Desenvolvimento de proposta técnicas a serem incluídas no padrão Gigabit Ethernet;
- Criação de procedimentos de teste e processos para o estabelecimento da interoperabilidade entre produtos de diferentes fabricantes;
- Dar apoio às tecnologias existentes, Ethernet e Fast Ethernet, no sentido de migrarem para o padrão Gigabit Ethernet, caso exista necessidade de maior largura de banda para as novas aplicações em redes já existentes.

**ÁREAS DE APLICAÇÕES DO 10 GIGABIT ETHERNET:**

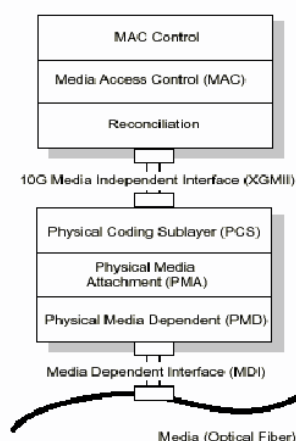
- Acesso rápido à internet;
- Ligações de servidores back-end;
- Transferência em tempo real;
- Transporte de dados em alta velocidade.
- Interligações de LANs;
- Ligações inter e intra PoP (*point of presence*);
- Telecomunicações/SOHO;

**LINHAS COMUNS ENTRE ESSAS APLICAÇÕES:**

- Necessidade maior largura de banda – a necessidade por maior largura de banda em áreas metropolitanas tem se expandido rapidamente como resultado das aplicações de ligações entre campus e prédios e o crescimento geral do tráfego na internet.
- Abastecimento de serviços ‘pesados’ – abastecimento de serviços rápidos, prioridade de serviços e controle integrados são exemplos de facilidades necessárias para se construir uma rede inteligente. As características de serviços também devem ser transparentes e consistentes para LAN, MAN e WAN.
- Integração e convergência – a mistura de características do tráfego na rede está a mudar com o resultado da convergência. Aplicações como IP, baseados na telefonia, e fluxo de vídeo estão a ganhar adeptos e a ser combinados em transferência de dados convencionais. Redes convergentes dependem muito da habilidade de gerir e controlar a qualidade do serviço de rede.
- Acessibilidade e conectividade – padrões de tráfego tem mudado de LAN-centric, para MAN ou WAN-centric. Emergência de aplicações de servidores de serviço, por exemplo, significa que todo tráfego deve fluir para um servidor externo local.
- Qualidade e confiabilidade – qualidade e confiabilidade de rede tornaram-se tópicos importantes para utilizadores e fornecedores de serviços. Confiabilidade pode ser definida tanto para os elementos de redes como para os serviços de rede. A maioria dos sistemas agora dependem em ter um rede que opera com uma performance específica durante 24 horas por dia / 7 dias por semana.

**CAMADAS E PROTOCOLOS DO 10 GIGABIT ETHERNET**

A figura abaixo ilustra os elementos funcionais definidos pelos padrões Ethernet. Há duas camadas funcionais: a camada física e a camada de ligação de dados (*Data Link*). Para manter o 10 Gigabit Ethernet parecido com o tradicional Ethernet, a interface da camada MAC (*Media Access Control*) deve ser a mesma.



**SUB-CAMADAS DO MEIO ÓPTICO:**

• **PMD – Physical Media Dependent:** O aumento da velocidade da Ethernet tem sido possível graças aos avanços da tecnologia da fibra óptica e processamento de sinal. Duas famílias da camada física (consistindo das subcamadas PCS, PMA e PMD) estão actualmente em desenvolvimento: a camada física LAN a 10 Gbps e a camada física WAN a uma velocidade de dados compatível com os padrões OC-1992c e SDH VC-4-64c.

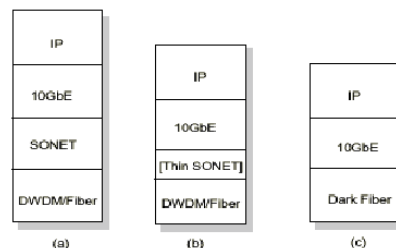
A subcamada PMD mapeia o meio físico para o PCS (*Physical Coding Sub-Layer*) e o MDI (*Medium Dependent Interface*) que é uma parte do PMD e a real interface da camada física. Esta camada define os componentes físico, como conectores para os diferente tipos de meio.

• **PMA – Physical Media Attachment:** O PMA coloca os dados a serem transmitidos em série e também faz a acção inversa. É o responsável por suportar projectos de codificação múltiplos desde que cada PMD use um codificador que esteja em conjunto com o meio específico suportado.

• **PCS – Physical Coding Sublayer:** A sub-camada PCS controla a delineação dos pacotes para a camada física. Esta é a sub-camada da GMII (*Gigabit Media Independent Interface*) que controla uma interface uniforme para a camada de reconciliação de todos os meios físicos. Utiliza-se da codificação 8b/10b; nesse tipo de codificação grupos de 8 bits são representados por 10 bit “code group”. Alguns *code groups* representam símbolos de dados de 8 bits e outros são símbolos de controle.

**O 10 GIGABIT ETHERNET NUMA MAN**

As alternativas para construir uma rede Ethernet baseada numa rede metropolitana que suporta transporte IP está ilustrado na seguinte figura:



a) **Pacotes sobre Ethernet sobre SONET:** pacotes IP podem ser transportados directamente sobre uma completa infra-estrutura SONET, usando a encapsulação PPP ou sobre o segmento Ethernet construídos sobre ligações SONET. Esse tipo de ligação é recomendada para longas distâncias. As capacidades da SONET completa poderiam ser incluídas, resultando em um considerável *overhead*. O IP directamente sobre o SONET é caro e difícil de controlar quando o número de conexões se torna alto. Ethernet sobre SONET, por outro lado, aumenta a capacidade de troca que pode reduzir o número de ligações ponto-a-ponto.

b) **Pacote sobre Ethernet sobre WDM:** um pequeno subconjunto do cabeçalho SONET é utilizado eliminando a maior parte do *overhead*; a maior vantagem é a eliminação dos cabeçalhos ATM e SONET. Tanto o 1 Gigabit Ethernet como 10 Gigabit Ethernet são mais viáveis economicamente, práticos e simples que o ATM.

c) **Pacote sobre Ethernet sobre Fibra:** em MANs, os utilizadores corporativos podem utilizar 10 Gigabit Ethernet sobre fibra escura (dark fiber optics) para suportar requerimentos como construções *serverless*, hosts remotos, *backup* ou armazenamento remoto e recuperação após desastres. Os fornecedores de serviços MAN podem construir *backbones* 10 Gigabit Ethernet com PoPs menos complexos e mais baratos. O 10 Gigabit Ethernet será usado para agregar *links* de acessos mais lentos, será usada em *backbones*, e também podem fornecer acesso WAN.

## **VANTAGENS DO 10 GIGABIT ETHERNET SOBRE DWDM**

### **Tecnológicas:**

A Ethernet tem provado ser bastante adaptável, fiável e uma tecnologia simples. Talvez uma das suas vantagens mais importantes seja que a tecnologia Ethernet tem vários anos de uso e estudo.

Implementações Ethernet são geralmente padrões inter-operáveis e inter-cambiáveis. Há um grande número de suprimentos para componentes Ethernet, os quais levaram à queda de preços e levaram a contínuas inovações.

Sua interface é transparente a vários meios de transmissão incluindo cabos, fios de cobre, e vários tipos de fibra. DWDM tem a habilidade de otimizar as instalações de fibras existentes.

Trocas de redes ópticas baseadas em DWDM permitirão trazer novos serviços inteligentes tanto para empresas quanto para os consumidores. Redes Ethernet reduzirão custos, simplificarão operações e aumentarão performances; tudo sem maiores perturbações nas aplicações já existentes.

### **Arquitectura:**

A maior vantagem da Ethernet é o seu potencial emergente de servir como uma verdadeira solução end-to-end, eliminando alguns dos processamentos de redes, que seriam necessários quando diferentes protocolos de ligações de dados fossem usados, ou seja, reduz a complexidade.

Uma desvantagem do uso da Ethernet seria a necessidade duma interface com outros tipos de redes como *frame-relay*, ATM e acesso TDM; apesar de tudo esta forma de conversão tem se tornado uma função comum de um router.

### **Gestão:**

Maiores lucros são conseguidos através de menos custos com equipamento e suporte técnico. O sistema de gestão de rede pode ser simplificado se o mesmo sistema pode ser usado em todos os níveis de rede. Usando Ethernet novos serviços podem ser fornecidos mais rapidamente, desde que os consumidores já usem Ethernet.

**Concluindo** esta abordagem ao 10 Gigabit Ethernet, podemos dizer que apesar das MANs terem sido, durante muito tempo, negligenciadas quanto a inserção de novas tecnologias, hoje em dia são o principal alvo de pesquisas e inovações tecnológicas, já que estas se tornaram um factor crucial para o desenvolvimento de redes mais rápidas e fiáveis a fim de suprir as necessidades do mercado.

Para essa evolução das MANs a tecnologia que se mostrou mais adequada e eficaz foi a 10 Gigabit Ethernet, devido a sua fácil adequação aos padrões já existentes, e a DWDM, uma tecnologia revolucionário do WDM para um melhor aproveitamento da fibra óptica.

## **12. WANS ÓPTICAS**

Ainda não é claro se o ATM será a principal tecnologia das futuras WANs. Entretanto, os nós WAN deverão suportar tráfegos de centenas de *gigabits* por segundo, o que é impraticável de ser realizado hoje usando somente *switches* ATM. E mais, WANs tendem a ser dispersamente conectadas, e portanto apenas pequenas fracções do tráfego ATM terminariam em cada nó. Neste cenário, parece mais prático e económico construir uma rede hierárquica ATM/SONET, onde *switches* ATM são conectados a *cross- connects* SONET, e estes por sua vez conectados entre si através de fibras ópticas.

Qual o papel das redes ópticas nas futuras redes de banda larga? A introdução das tecnologias WDM e OTDM, possibilitará expandir a largura de banda que sai de um nó para vários terabits por segundo. Portanto, para interligar estas alta taxas de informações parece razoável que algum tipo de serviço óptico deva ser utilizado.

No entanto, por causa das limitações de processamento óptico, de memória óptica e de tecnologia de sincronização, as redes ópticas provavelmente não serão capazes de prover serviços de transporte de pacotes/células ópticas que venham de encontro aos pré-requisitos de interligação necessários as WANs num futuro próximo. Assim, a curto prazo as opções de serviços ópticos em WANs deverão incidir apenas na utilização de serviços de circuitos ópticos.

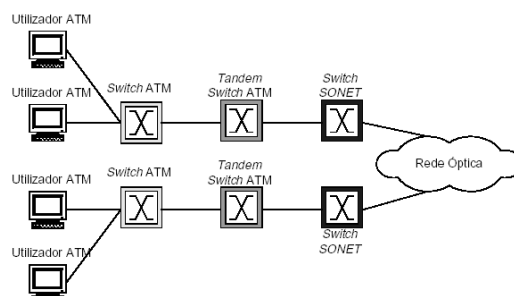
A curto prazo, existe somente uma tecnologia candidata para o desenvolvimento de WANs ópticas: é a tecnologia WDM. Isto se dá pois o WDM possui custo menor que o OTDM, já foi demonstrado para redes WANs transcontinentais e além de tudo isto o encaminhamento por comprimentos de onda de circuitos analógicos WDM já foi demonstrado em várias redes ópticas de teste. Uma vez que a tecnologia WDM é mais madura, os serviços ópticos oferecidos pela rede óptica deverão ser portanto serviços de circuitos ópticos analógicos carregando dados digitais.

Entretanto, talvez a longo prazo o OTDM venha-se tornar a principal tecnologia de desenvolvimento de WANs ópticas, dado que pode suportar utilizadores a taxas muito elevadas e que possui vários benefícios em potencial para prover avançados serviços digitais ópticos.

A seguir são apresentadas três possíveis arquitecturas de redes de banda larga usando ATM, SONET e WDM. O objectivo é mostrar como as redes ópticas WDM podem ser utilizadas para prover serviços aos equipamentos de interligação ATM e SONET.

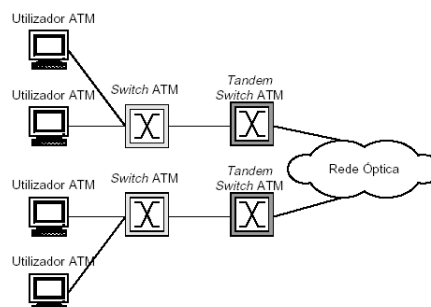
### **POSSÍVEL ARQUITECTURA DE REDE DE BANDA LARGA USANDO ATM/SONET/WDM**

A próxima figura mostra a possível arquitectura de uma rede de banda larga usando ATM/SONET/WDM. Nesta arquitectura, a rede óptica prove circuitos analógicos ópticos entre *switches* SONET. Os *switches* SONET por sua vez provêem circuitos entre os *switches* ATM. Cada circuito analógico utiliza um comprimento de onda  $\lambda$  diferente. A rede óptica retira  $\lambda$ s locais e passa adiante os demais  $\lambda$ s afim de reduzir os requisitos de interligação dos equipamentos SONET. Os equipamentos SONET são utilizados para *Add/Drop* e interligação de informações num mesmo  $\lambda$  e entre  $\lambda$ s.

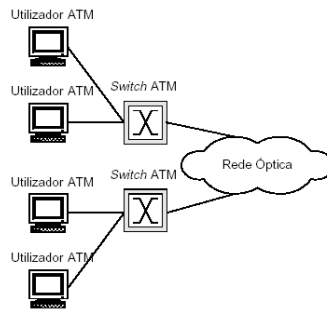


### **POSSÍVEL ARQUITECTURA DE REDE BANDA LARGA USANDO ATM/WDM**

A próxima mostra uma possível arquitectura de uma rede de banda larga usando somente ATM/WDM. Nesta arquitectura, a rede óptica interliga *switches* ATM com um circuito analógico óptico para cada  $\lambda$  e não existe camada SONET. Neste caso, os *switches* ATM processarão muito mais informações que na primeira arquitectura.



Outra possível arquitectura de uma rede faixa larga usando somente ATM/WDM pode ser visualizada na figura seguinte. Nesta arquitectura, a rede óptica prove circuitos ópticos em maior abundância para interligar os *switches* ATM.



A diferença entre a segunda arquitectura e a terceira arquitectura é a capacidade dos *switches* ATM e a quantidade de informações carregadas num mesmo  $\lambda$ . Se os circuitos ópticos forem recursos escassos, a rede lógica ATM será dispersa. Isto implica no uso de grandes *switches tandem* ATM, uma vez muito mais tráfego deverá passar por um mesmo *switch* ATM. Entretanto, se os circuitos ópticos forem abundantes, a rede ATM será mais interligada, portanto reduzindo o tráfego entre *switches* ATM.

### 13. DUAS TECNOLOGIAS EM DESENVOLVIMENTO: CDMA E MP $\lambda$ S

#### CDMA

CDMA é um termo genérico que descreve uma interface baseada na tecnologia de acesso múltiplo por divisão de código ou de espectro expandido e é o nome comercial da tecnologia *spread spectrum*. Esse sistema consegue provar acesso múltiplo de utilizadores através da emissão dos dados numa mesma frequência portadora.

O CDMA (Code Division Multiple Access - Acesso Múltiplo por Divisão de Código) é baseado numa tecnologia originalmente desenvolvida pelos Aliados, na segunda guerra mundial. Cada transmissão é espalhada na maior largura de banda possível; todas as transmissões são feitas simultaneamente, e diferenciadas na estação receptora através de um código único de identificação.

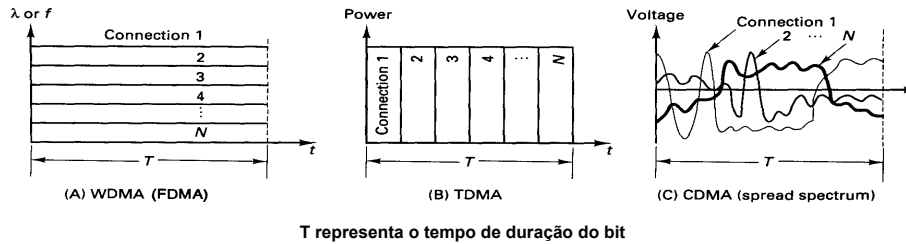
Essa tecnologia pode ser comparada a várias pessoas a falar juntas nalguma língua que não conhecemos; é impossível entender a conversa, mas se nós conhecermos o vocabulário de apenas uma delas, isso será suficiente para entender o que ela está a dizer.

Assim, o receptor necessita da chave utilizada pelo transmissor para entendê-lo. Os transmissores utilizam um meio inteligente para controlar a energia necessária para a transmissão, diminuindo-a ou aumentando-a conforme necessário; isso reduz a possível interferência noutros sinais que estão a ser transmitidos simultaneamente.

O limite do CDMA só é alcançado quando o nível de ruído torna impossível diferenciar a transmissão desejada do resto dos sinais. A teoria sobre o uso dessa tecnologia foi proposta em 1940, mas sua aplicação prática só foi possível na década de 80, principalmente pelo desenvolvimento de circuitos integrados baratos e pela redução de tamanho e peso dos equipamentos de transmissão.

O CDMA, ao invés de utilizar um serviço analógico, utiliza um digital; sistemas antigos de transmissão utilizavam alguns métodos de multiplexagem, como a por tempo (TDMA) ou por frequência (FDMA); o CDMA,

entretanto, utiliza um esquema de códigos digitais únicos, utilizados para diferenciar as transmissões, que são feitas todas na mesma zona do espectro.



Por ser uma tecnologia de difusão de espectro, o que significa que ele espalha a informação contida num sinal numa banda de frequências bem maior que a original, é muito difícil haver interferência e/ou identificação do sinal do CDMA: a banda de frequências utilizada, pela sua grande abrangência, parece ser apenas ruído; noutras tecnologias, um canal possui um sinal concentrado, o que o torna mais fácil de detectar.

De forma distinta dos sistemas que dividem a banda de frequências do meio em pequenos canais e atribuem a cada um uma transmissão, o CDMA utiliza um sistema que permite o envio de sinais ao mesmo tempo e nas mesmas frequências portadoras. Cada um dos elementos do sistema possui um longo código binário exclusivo para diferenciar um do outro no lado do receptor.

- Utiliza um esquema de codificação único que praticamente elimina as linhas cruzadas e reduz dramaticamente o impacto das interferências de outras fontes
- Grande área de cobertura, garantida pela natureza do próprio sinal em espectro espalhado (*spread spectrum*)
- Capacidade de aumentar até 10x a capacidade de sistemas analógicos
- Qualidade da chamada e da transmissão de dados
- Segurança e privacidade
- Suporta maior tráfego de dados e voz
- Não sofre tanta interferência por aparelhos electrónicos

### MPλS

O Generalized MPLS (que é a realização do conceito de MPλS, criado pela extensão do MPLS tendo em vista o suporte de encaminhamento de *non-packet connection oriented*) será parte integrante da próxima geração de redes de dados:

- proporciona a necessária ligação entre o nível IP e fotónico (nomeadamente, IP sobre WDM);
- proporciona um rápido desenvolvimento, uma maior eficiência operacional e oportunidades de negócio adicionais;
- garante a necessária flexibilidade para suportar o novo paradigma operacional dos operadores, tanto de segregação como de unificação da rede;
- combina as actuais técnicas de plano de controlo com as novas potencialidades de fornecimento (do tipo *point-and-click*) proporcionadas pelos comutadores fotónicos;
- define um plano de controlo standard e forma de sinalização entre os elementos da rede, possibilitando um melhor controlo operacional;
- suporta múltiplos tipos de ligação (por pacotes, por comprimentos de onda, por fibra, *bundles*, etc);
- baseia-se nos standards já desenvolvidos;
- integra 50 anos de experiência de desenho, sinalização, encaminhamento e gestão de redes de comunicações.

O MPλS proporciona ainda, uma arquitectura pragmática e protocolos para definição de rotas baseadas em condicionalismos de QoS:



- independentes do *payload* da codificação;
- garantindo o estabelecimento consistente de rotas para várias tecnologias;
- explorando as evoluções no encaminhamento baseado nos condicionalismos do MPLS;
- abrindo os mercados de equipamentos actualmente cingidos a soluções proprietárias;
- abrindo novas perspectivas de arquitectura:
  - Modelo de *overlay* – diferentes instancias do plano de controlo no domínio da rede de transporte óptica(OXC) e no domínio IP(LSR)
  - Modelo de *Peer* – uma instancia do plano de controlo que suporta LSRs e OXCs; permite o fornecimento de largura de banda a pedido (bandwidth-on-demand networking).

O Generalized MPLS suporta ambos os modelos dando aos fornecedores de serviços (SPs) liberdade de escolha.

## 14. BIBLIOGRAFIA

Mestdagh, Denis J.G., “*Fundamentals of Multiaccess Optical Fiber Networks*”, Artech House 1995.

Green, Paul E., “*Fiber Optic Networks*”, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1993.

Alberti, António Marcos, “*Monografia – Tecnologia ATM*”, UNICAMP, Dezembro 1998.

Steven G. Finn, Richard A. Barry, “*Optical Services in Future Broadband Networks*”, IEEE Network Magazine, Novembro/Dezembro 1996.

B. Mukherjee, “*Optical Communications Networks*”, McGraw-Hill series on Computer Communications, New York 1997.

*E ainda uma lista interminável de sites Web, alguns deles são:*

<a href="http://www2.ics.hawaii.edu">http://www2.ics.hawaii.edu</a>	<a href="http://www.netlab.ohio-state.edu">http://www.netlab.ohio-state.edu</a>
<a href="http://hsi.web.cern.ch/HSI/Welcome.html">http://hsi.web.cern.ch/HSI/Welcome.html</a>	<a href="http://www.ail.gmu.edu/">http://www.ail.gmu.edu/</a>
<a href="http://www.cisco.com/">http://www.cisco.com/</a>	<a href="http://www.lucent.com/">http://www.lucent.com/</a>
<a href="http://www.trillium.com/">http://www.trillium.com/</a>	<a href="http://www.fujitsu.com/">http://www.fujitsu.com/</a>
<a href="http://www.alcatel.com/">http://www.alcatel.com/</a>	<a href="http://www.ibm.com/">http://www.ibm.com/</a>
<a href="http://www.it.uc.pt/">http://www.it.uc.pt/</a>	<a href="http://www.ualg.pt/">http://www.ualg.pt/</a>
<a href="http://www.ist.utl.pt">http://www.ist.utl.pt</a>	...
...	...

*entre centenas!!! de outros sites*