Julliana de Oliveira Pinto
jopinto@cbpf.br
Cristiano Pinheiro Machado
cmachado@cbpf.br

Marcelo Portes de Albuquerque
marcelo@cbpf.br
Márcio Portes de Albuquerque
mpa@cbpf.br
Nilton Alves Jr.
naj@cbpf.br

DWDM EM REDES METROPOLITANAS

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar o sistema de transporte de dados DWDM – ***Dense Wavelength Division Multiplexing.***

Serão apresentadas as suas definições, princípio de funcionamento, tecnologias, análise crítica, análise de problemas e tendências futuras.*

* É importante ressaltar que neste trabalho o auxílio visual das cores proporciona um melhor entendimento da tecnologia. No arquivo original, em formato pdf, as figuras encontram-se coloridas, estando este disponível na página: http://www.biblioteca.cbpf.br.

ÍNDICE

1. Introdução 5
2. Tecnologias de Transporte de Dados 8
2.1. SONET (Synchronous Optical Network) / SDH (Synchronous Digital Hierarchy) 9
2.2. ATM - Asynchronous Transfer Mode 10
2.3. Gigabit Ethernet 10
2.4. IP 11
3. Fibras Ópticas 11
4. DWDM em Redes Metropolitanas 15
4.1. Evolução para o DWDM 15
4.2. Sistema DWDM 16
4.3. Topologias de rede 19
4.3.1. Ponto-a-ponto 19
4.3.2. Anel 20
4.3.3. Mista 20
4.4. Exemplo de Rede 21
5. Conclusão 22
6. Bibliografia 23

FIGURAS E TABELAS

Fig. 1 – Volume de tráfego x tempo 5
Fig. 2 – Separação de um feixe de luz em cores 6
Fig. 3 – Conceito de TDM 7
Fig. 4 – Conceito de WDM 7
Fig. 5 – Esquematização do DWDM 8
Fig. 6 – Protocolos das camadas de rede e enlace sobre a camada óptica 8
Tabela 1 - STM 9
Fig. 7 – Cabo óptico 12
Fig. 8 – Fibra óptica 12
Fig. 9 – Regiões dos comprimentos de onda 13
Fig. 10 – Tipos de fibra óptica 14
Tabela 2 – Portadora óptica 16
Fig. 11 – DWDM com acopladores e filtros 16
Fig. 12 – Esquema de um demultiplexador DWDM 17
Fig. 13 – Eliminação de regeneradores DWDM 19
Fig. 14 – Topologia ponto-a-ponto 19
Fig. 15 – Topologia em anel 20
Fig. 16 – Topologia mesh 21
Fig. 17 – Exemplo de Rede Multi-serviço 21

1. INTRODUÇÃO

A necessidade da implementação de sistemas que permitissem muitas comunicações simultâneas começou nas primeiras décadas do século XX. Por volta de 1926 foram criados os sistemas telefônicos com onda portadora para transmissão de dois ou quatro canais de voz.

Os equipamentos sofreram rápida evolução, levando a uma enorme ampliação na quantidade de contatos telefônicos. O aumento na demanda dos serviços de telecomunicações trouxe um congestionamento e uma saturação dos sistemas que empregavam as faixas de freqüência tradicionais, incluindo as freqüências de microondas. Isto motivou o emprego de freqüências cada vez mais elevadas, onde as portadoras fossem capazes de transportar um número bem maior de conexões simultâneas, através dos sistemas de multiplexação das mensagens. Nos últimos anos intensificaram-se as aplicações na faixa de ondas milimétricas, acima de 30GHz. Tornou-se, então, quase natural que as pesquisas se concentrassem na idéia de se empregarem freqüências de luz, ainda que não fossem na faixa visível.

Com o aumento da globalização, a troca de informações se tornou uma ferramenta fundamental no andamento da economia, de maneira que se observou a necessidade da formação de redes metropolitanas rápidas, flexíveis e confiáveis.

Com o tempo, a demanda de banda para tráfego de dados IP superou a demanda por tráfego de voz, como representado no gráfico abaixo.

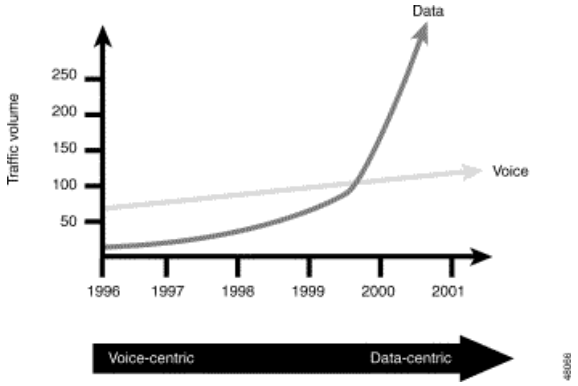


Fig. 1 – Volume de tráfego x tempo

Novas aplicações como videoconferência, computação distribuída, educação à distância, telemedicina, voz sobre IP (VoIP), ATM, SONET/SDH, entre outras, se somam às "aplicações convencionais" como o correio eletrônico, transferência de arquivos, etc. Estes serviços são bastante diversificados, com diferentes níveis de complexidade, qualidade de serviço e requisitos funcionais distintos, exigindo uma grande capacidade de banda passante. O DWDM é então discutido como um componente crucial para redes ópticas.

A evolução da óptica fez com que novas descobertas e tecnologias fossem sendo implementadas. Criaram-se os métodos de modulação da luz e aperfeiçoaram-se as fibras ópticas para confinar a propagação de luz em uma região que apresentasse pequena degradação do sinal transmitido. As fibras ópticas despertaram grande interesse para a modernização das comunicações por suplantarem os sistemas tradicionais e apresentarem outras vantagens. Dentre essas vantagens podemos citar o fato de os cabos de fibra óptica possuírem uma capacidade de transmissão muito maior do que a dos cabos de cobre, além do fato de não serem tão susceptíveis a interferências. A perda de potência do sinal por quilômetro é muito menor do que os sistemas com cabos coaxiais, guias de onda ou transmissão pelo espaço livre, que significa uma quantidade menor de repetidores para cobertura total do enlace.

Nas transmissões por fibras ópticas as portadoras possuem freqüências na faixa de infravermelho, valores da ordem de centenas de Terahertz, fato que permite prever o emprego de elevadíssimas taxas de transmissão, de até milhares de megabits/segundo. Esta propriedade implica em significativo aumento na quantidade de canais de voz sendo transmitidos simultaneamente. Uma das limitações no número de canais fica por conta da interface eletrônica, necessária para imprimir a modulação e a retirada da informação no ponto de chegada do sinal. A capacidade do sistema óptico pode ser aumentada, ainda mais, utilizando-se a técnica da multiplexação por comprimento de onda. Multiplexar significa combinar sinais vindos de múltiplas fontes e transmití-los através de um único meio.

O DWDM é um novo sistema que multiplexa múltiplos comprimentos de onda (ou cores de luz) que serão transmitidos através de uma única fibra óptica. O sistema de multiplexação funciona como um prisma, como apresentado abaixo. É um sistema que utiliza um canal comum para transmitir outros pequenos canais de comunicação de uma ponta a outra. Cada comprimento de onda é um canal separado, que multiplica a capacidade de transmissão da fibra.

Fig. 2 – Separação de um feixe de luz em cores

A capacidade de transmissão de dados pode ser incrementada de diversas maneiras, entre elas temos:

– Instalação de fibra nova: esta prática não é viável devido às limitações de produção e custo muito altos.

– Através do método TDM (Time Division Multiplexing): multiplexação dos sinais (voz, dados, imagem) no domínio do tempo com taxas cada vez maiores (2,5 Gbps, 10 Gbps). A multiplexação se faz com o envio sincronizado de partes dos dados. O tempo é dividido em pequenos intervalos nos quais cada fonte transmite pedaços de seus dados por vez. O uso dessa técnica encontra duas limitações práticas: uma de ordem econômica sendo muito elevado o custo das partes eletrônicas e eletroópticas (transmissores, receptores, regeneradores) para operação com taxas de transmissão acima de 2,5 Gbps e outra de ordem técnica relacionada à degradação do sinal devido à dispersão e a efeito não lineares.

Fig. 3 – Conceito de TDM

– Através do método WDM (Wavelenght Division Multiplexing): os sinais que transportam a informação, em diferentes comprimentos de onda, são combinados em um multiplexador óptico e transportados através de um único par de fibras, com o objetivo de aumentar a capacidade de transmissão e, conseqüentemente, usar a largura de banda da fibra óptica de uma maneira mais adequada. Os sistemas que utilizam esta tecnologia, em conjunto com amplificadores ópticos, podem aumentar significativamente a capacidade de transmissão de uma rota sem a necessidade de se aumentar o número de fibras.

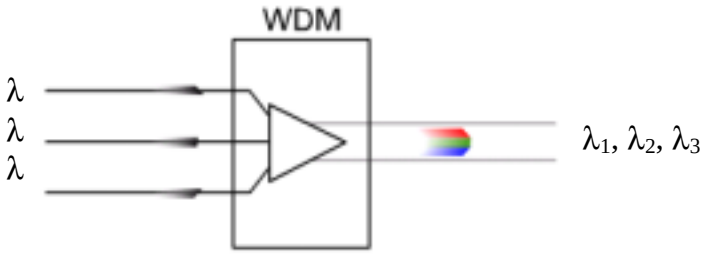


Fig. 4 – Conceito de WDM

– Através do método DWDM: a nova tecnologia DWDM (Dense Wavelenght Division Multiplexing) nada mais é do que a tecnologia WDM diferenciando-se apenas no

fato de que o número de comprimentos de onda transmitidos é bem maior pois o espaçamento entre eles é menor. Chegou-se a uma capacidade de 128 comprimentos de onda por fibra e ainda não se conhece o limite dessa tecnologia. Somadas as evoluções e os desenvolvimentos da tecnologia VoIP com a demanda cada vez maior para os transportes de dados, muitos acreditam que o protocolo IP diretamente sobre DWDM será o futuro das telecomunicações no mundo.

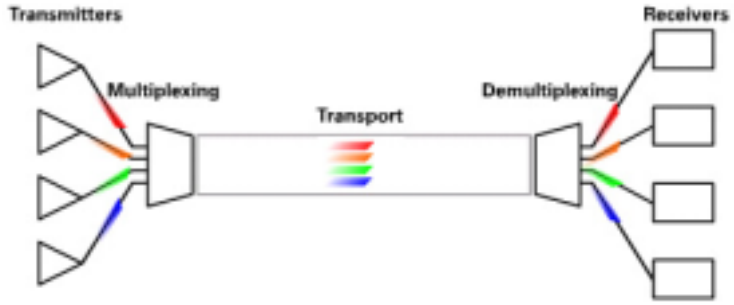


Fig. 5 – Esquematização do DWDM

2. TECNOLOGIAS DE TRANSPORTE DE DADOS

A seguir serão apresentadas algumas das tecnologias de transporte de dados mais utilizadas nas redes metropolitanas. A figura abaixo representa diferentes formas de transmissão e tipos de encapsulamento dentro dos quais a informação digital, no caso os pacotes de dados IP, pode ser transmitida através da camada óptica.

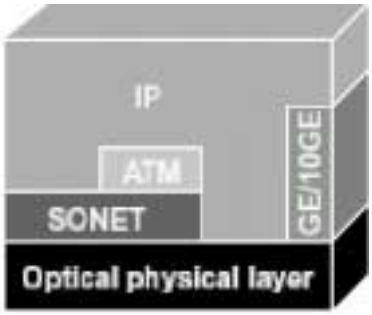


Fig. 6 – Protocolos das camadas de rede e enlace sobre a camada óptica

2.1. SONET (SYNCHRONOUS OPTICAL NETWORK) / SDH (SYNCHRONOUS DIGITAL HIERARCHY)

O SONET (padrão norte-americano) e o SDH (padrão europeu internacional) são os padrões de multiplexação TDM usados em transmissão de dados. O SDH permite que se integrem vários serviços de comunicações utilizando a mesma rede.

Ao contrário do padrão anterior, chamado PDH (Plesiochronous Division Hierarchy), pode-se acrescentar ou retirar informações do sinal multiplexado com relativa facilidade, o que garante versatilidade ao sistema SDH. Devido a essa característica, o SDH é chamado de padrão ADM (Add and Drop Multiplexer).

Os sistemas síncronos podem ser encarados como o último estágio na hierarquia dos sistemas de transmissão, pois possibilitam a inserção e extração de enlaces sem que seja necessária uma demultiplexação. Por exemplo, numa rede onde haja perfeito sincronismo entre todos os enlaces, é possível saber exatamente a que enlace pertence determinado bit, assim como saber quando começa e quando termina um enlace.

Embora os fabricantes estivessem tentando produzir soluções próprias, desde o começo fizeram grande esforço conjunto para padronizar ao máximo os sistemas de transmissão síncronos. A oportunidade de definir padrões foi usada para resolver problemas como incluir espaço, dentro de cada hierarquia, para que o sistema fosse capaz de gerenciar a qualidade de transmissão e medir o tráfego.

No SDH é definida uma estrutura básica de transporte de informação denominada STM-1 (Synchronous Transport Module-1), com taxa de 155,5 Mbit/s. Esta estrutura define o primeiro nível de hierarquia. As taxas de bit dos níveis superiores são múltiplos inteiros do STM-1. Atualmente são padronizados quatro módulos de transporte conforme tabela abaixo:

STM-n	Taxa (Mbps)
STM-1	155.5
STM-4	622.1
STM-16	2488.3
STM-64	9953.3

Tabela 1 - STM

2.2. ATM - ASYNCHRONOUS TRANSFER MODE

É a tecnologia baseada na transmissão de pequenas unidades de informação denominadas células (pacotes de comprimento fixo), que são transmitidas em circuitos virtuais, onde a rota é estabelecida no momento da conexão. Este modo de transferência de informações independe do meio de transporte na camada física e é classificado como orientado à conexão.

O ATM é baseado no conceito de comutação por células e na multiplexação por divisão de tempo assíncrona (ATDM), onde não há alocação fixa de intervalos de tempo ao canal (conexão). A ocupação do canal é feita sob demanda de acordo com o tráfego de cada conexão, sendo cada canal identificado através do rótulo no cabeçalho.

Umas das vantagens da tecnologia ATM, é que ela não utiliza a alocação e nem a monopolização de canais. Os mesmos comutadores podem ser utilizados para chaveamento de todos os serviços de forma transparente.

As redes ATM podem ser projetadas de forma a aproveitar melhor os meios de comunicação na presença de tráfego em rajadas e ao mesmo tempo, garantir o retardo máximo para serviços que suportam fontes de tráfego contínuo.

A característica das células de ATM possuírem tamanho fixo e reduzido traz vantagens como diminuir o grau de complexidade dos comutadores da rede, diminuir tempo de empacotamento e proporcionar um menor atraso de transferência.

A principal desvantagem que as células ATM proporcionam é o grande overhead, isto é, a quantidade de bytes destinados ao cabeçalho dentro das células é muito grande, cerca de 9,4% da informação transmitida é cabeçalho, o que diminui a capacidade efetiva de transmissão na rede.

2.3. GIGABIT ETHERNET

A crescente importância das redes locais e o aumento da complexidade das aplicações em estações de trabalho têm aumentado a necessidade por redes de alta-velocidade. Diversas tecnologias de redes de alta-velocidade foram propostas, entre elas a FastEthernet, ou 100Base-T, projetada para oferecer uma evolução tranqüila à já conhecida tecnologia Ethernet (10Base-T). Com a tendência de conexões 100Base-T às estações de trabalho, a necessidade de conexões ainda mais velozes com os servidores e mesmo com o *backbone* torna-se obrigatória. Entra em cena então o GigabitEthernet, que será ideal para interconectar *switches* 10/100Base-T e servidores de alto desempenho e será o caminho natural para, futuramente,

conectar estações de trabalho que necessitem de uma maior largura de banda do que o 100Base-T pode oferecer.

O GigabitEthernet, por seu apelo de poder oferecer a solução para o congestionamento de *backbones*, por atender às demandas cada vez maiores das aplicações e por ser uma tecnologia familiar e compatível com o padrão Ethernet está atraindo, cada vez mais, a atenção da indústria e dos profissionais da área de redes.

O GigabitEthernet tem como principais vantagens à popularidade da tecnologia Ethernet e o seu menor custo se comparado às tecnologias SONET e ATM. Basicamente, ele oferece um aumento de 10 vezes em relação ao desempenho da tecnologia mais utilizada atualmente para conexão entre computadores e servidores: o Fast Ethernet. Trata-se de uma tecnologia conhecida, protegendo o investimento feito em treinamento de profissionais e em equipamentos.

2.4. IP

O protocolo IP (Internet Protocol) conclui uma unidade de transferência de dados, chamada datagrama ou pacote. Na internet o conjunto de protocolos TCP/IP formam a base para toda a troca de informações. Cada "HOST" conectado à Internet possui um endereço distinto chamado endereço IP que é constituído de 32 bits. Dessa forma, em todo pacote de dados estão incluídos os endereços IP de origem e destino, sendo utilizados pelos equipamentos da rede para encontrar o melhor caminho para a entrega do pacote.

É um conjunto de protocolos que permite todas as facilidades para os usuários, tais como: correio eletrônico (SMTP), transferência de arquivo (FTP), visualização de páginas web, etc.

Visto isso, a questão reside no fato de como será encapsulado o pacote IP para a transmissão na rede óptica: IP sobre ATM sobre SONET, IP sobre SONET (chamado POS – Packet Over Sonet), ou IP sobre Gigabit Ethernet.

3. FIBRAS ÓPTICAS

Uma fibra óptica é composta basicamente de material dielétrico (em geral, sílica ou plástico), segundo uma longa estrutura cilíndrica, transparente e flexível, de dimensões microscópicas comparáveis às de um fio de cabelo.

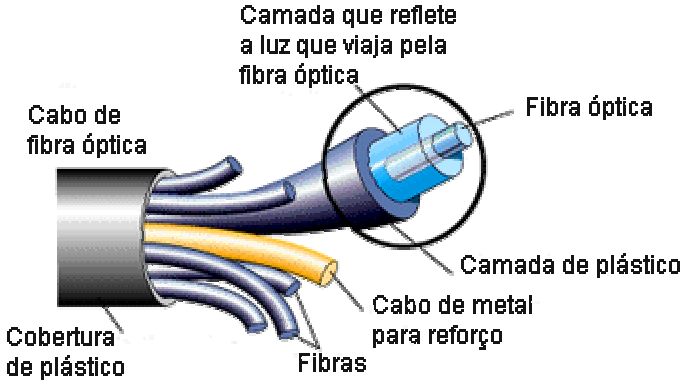


Fig. 7 – Cabo óptico

A estrutura cilíndrica da fibra óptica é formada por uma região central, chamada de *núcleo*, envolta por uma camada, também de material dielétrico, chamada *casca*, como mostrado na figura abaixo.

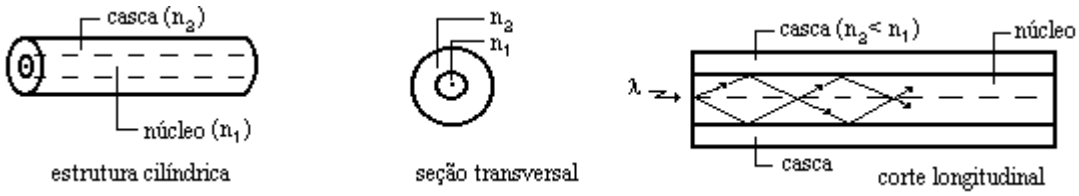


Fig. 8 – Fibra óptica

A composição da fibra óptica oferece condições à propagação de energia luminosa através do seu núcleo, ela propaga luz por reflexões sucessivas.

As fibras ópticas possuem algumas vantagens em relação a alguns dos meios físicos tradicionais, como o cabo coaxial e o par trançado. Por exemplo:

- Baixas perdas de transmissão: diminui o número de repetidores.

- Alta capacidade de transmissão: aumenta a quantidade de informação transportada.

- Imunidade a interferências e isolação elétrica: os dados não são corrompidos durante a transmissão.

- Segurança do sinal: a fibra não irradia de forma significativa a luz propagada, dando um alto grau de segurança a informação transportada.

A fibra óptica moderna apresenta largura de faixa muito grande (multigigahertz x quilômetros) com baixa atenuação e pequena dispersão dos pulsos emitidos. Por estas propriedades os sistemas à fibra são os que apresentam o menor custo por quilômetro por canal instalado.

O uso da fibra óptica também possue algumas desvantagens como:

- Fragilidade das fibras ópticas sem encapsulamento

- Dificuldade de conexões das fibras ópticas
- Acopladores tipo T com perdas muito grandes
- Falta de padronização dos componentes ópticos

O espectro óptico inclui freqüências entre $3x10^{11}$ Hz e $3x10^{16}$ Hz, correspondendo ao extremo inferior da faixa infravermelho e o limite superior da faixa ultravioleta. O interesse para comunicações ópticas são as freqüências no infravermelho na faixa de $1,5x10^{14}$ Hz a $4x10^{14}$ Hz, aproximadamente.

Usualmente, para comunicações ópticas, em lugar das freqüências ópticas expressam-se os correspondentes comprimentos de onda, o valor calculado de comprimento de onda está entre 0,8 μm e 1,6 μm, aproximadamente no meio da faixa conhecida como infravermelho próximo.

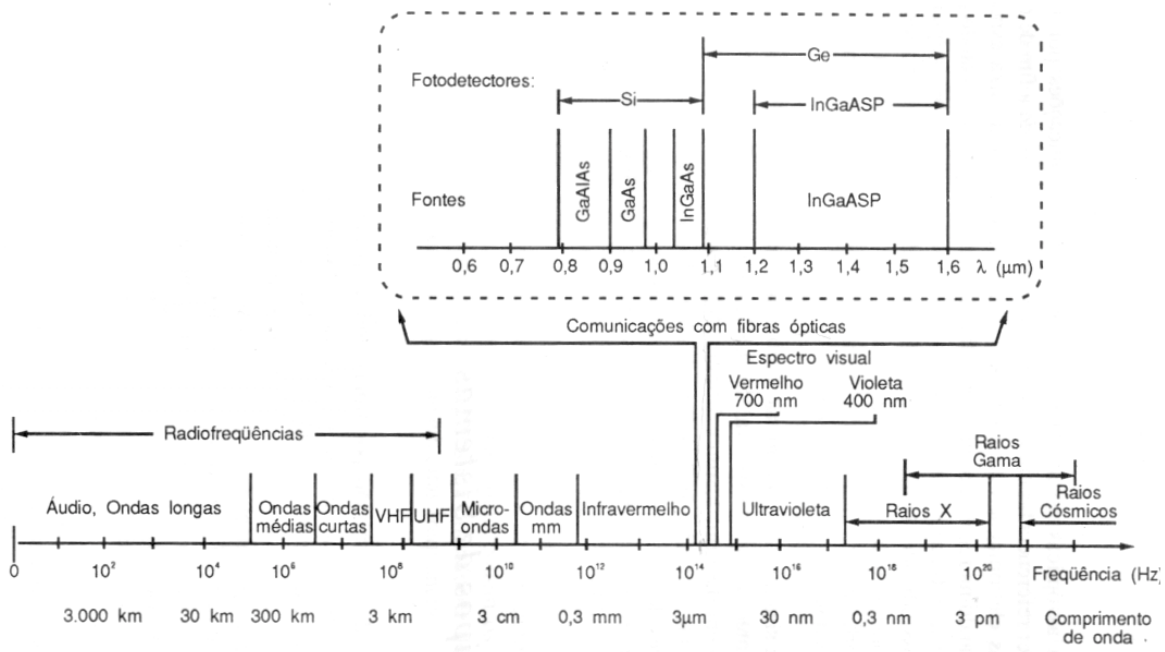
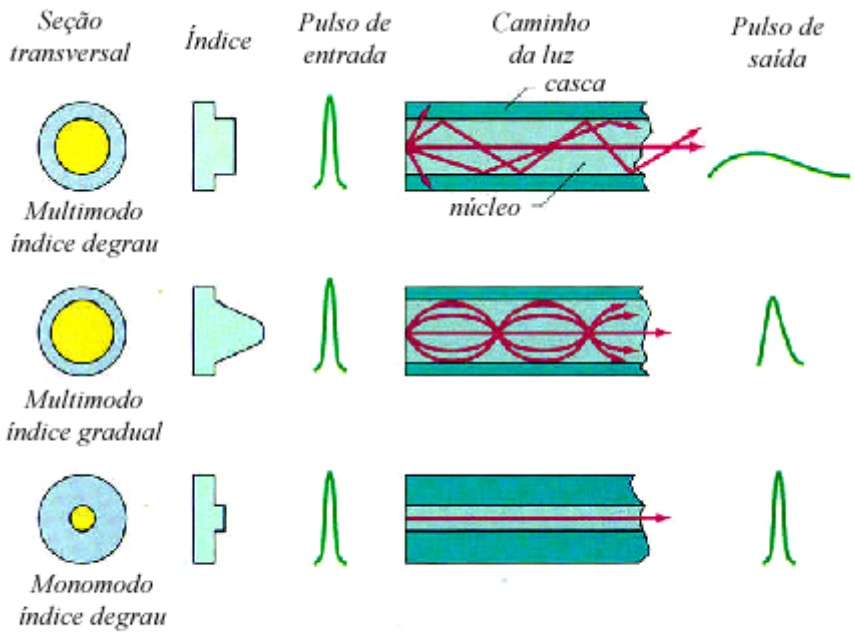


Fig. 9 – Regiões dos comprimentos de onda

A capacidade de transmissão (banda passante) de uma fibra óptica é função do seu comprimento, da sua geometria e do seu perfil de índices de refração (n). Existem duas classes principais de fibras: monomodo e multimodo

A fibra multimodo possui vários modos de propagação e de acordo com o perfil da variação de índices de refração da casca com relação ao núcleo, classificam-se em: índice degrau e índice gradual, a diferença entre eles pode ser visto na figura a seguir. O seu diâmetro é bastante elevado, entre 50 e 80 mícrons, fazendo com que o feixe luminoso sofra reflexões, limitando o alcance do sinal a cerca de 2 Km. Devido a isso as fibras ópticas multimodo são utilizadas em redes locais ou de campus.



Extraído de "Fundamentals of Physics", Halliday, Resnick e Walker.

Fig. 10 – Tipos de fibra óptica

Já a fibra monomodo possui dimensões muito pequenas, e uma capacidade de transmissão superior às fibras multimodo, o seu diâmetro de 10 mícrons, permite uma propagação da onda sem reflexão. A distância é claramente mais elevada e a largura de banda disponibilizada torna-se quase ilimitada. As fibras monomodo são utilizadas sobretudo nas redes de longa distância, isto é, nas redes metropolitanas do tipo GigabitEthernet, ou em backbones de tipo SDH ou DWDM.

A energia na fibra óptica propaga-se como sendo campos superpostos chamados modos de propagação. A maneira com que a luz é lançada na fibra óptica influencia muito na posterior distribuição da luz em seu interior. Este efeito é preponderantemente sentido em fibras multimodo, pois sabe-se que a potência óptica acoplada distribui-se entre os modos excitados na fibra. No caso de fibras monomodo parte da luz é acoplada através do modo fundamental e outra parte é radiada.

Para fibras multimodo se todo o seu núcleo é iluminado, então todos os modos guiados são excitados, inclusive alguns modos de baixa ordem. A intensidade de cada modo varia ao longo da fibra pelo efeito da atenuação e do fenômeno de transferência de energia entre os modos. A distribuição de energia no final da fibra depende fundamentalmente das condições de injeção de luz no início.

Existem algumas características de transmissão em fibras ópticas que influenciam fortemente no desempenho das fibras com o meio de transmissão, como o DWDM. Na escolha do tipo de fibra óptica, para operação em sistemas WDM, devem ser analisados

fatores como: atenuação, dispersão e efeitos não lineares, pois eles são fundamentais para um bom desempenho do sistema.

Cada tipo de fibra apresenta algum comportamento para operação em WDM que irá resultar em restrições para este tipo de operação. Estas restrições terão impacto direto na performance do sistema, limitando sua capacidade de transmissão ou diminuindo o alcance dos enlaces.

4. DWDM EM REDES METROPOLITANAS

4.1. EVOLUÇÃO PARA O DWDM

Uma infra-estrutura DWDM é projetada para prover uma evolução de rede significativa para provedores de serviços que buscam atender as demandas de capacidade sempre crescentes de seus clientes. O potencial de fornecer capacidade aparentemente ilimitada de transmissão é obviamente uma das maiores vantagens dessa tecnologia. A tecnologia DWDM traz vantagens tanto no aspecto técnico quanto no aspecto econômico.

Alguns analistas da indústria vêem o DWDM como um ajuste perfeito para redes que satisfazem demandas para mais largura de banda. Redes baseadas em DWDM são altamente flexíveis e modulares. Apesar do fato que um sistema de OC-48 (fibra com capacidade de transmissão de 2,5 Gbps – veja a tabela portadora óptica) que conecta com 8 ou 16 canais por fibra poder parecer suficiente agora, tais medidas são necessárias para o sistema ser eficiente desse momento até daqui a dois anos.

À parte da capacidade enorme de ganho por *networking óptico*, a camada óptica provê os únicos meios para portadores integrarem as diversas tecnologias de suas redes existentes em uma infra-estrutura física. Sistemas DWDM têm taxa-bit e formatos independentes, e podem aceitar qualquer combinação de taxas de interface (por exemplo, síncrono, assíncrono, OC-3, OC-12, OC-48, ou OC-192) na mesma fibra ao mesmo tempo. Se um portador opera ATM e redes SONET, o sinal do ATM não tem que ser multiplexado até a taxa SONET para ser levado na rede DWDM. Como a camada óptica leva sinais sem qualquer multiplexação adicional, os portadores podem introduzir ATM ou IP rapidamente sem acréscimos na rede. Um benefício importante de *networking óptico* é o fato de que ele habilita qualquer tipo de carga a ser transmitida na fibra.

OC	Velocidade
OC-1	51.85 Mbps
OC-3	155.52 Mbps
OC-12	622.08 Mbps
OC-24	1.244 Gbps
OC-48	2.488 Gbps
OC-192	9.952 Gbps

Tabela 2 – Portadora óptica

4.2. SISTEMA DWDM

Os sistemas WDM possuem algumas características que devem ser exploradas de acordo com a necessidade e situação:

- Flexibilidade de capacidade: migrações de 622 Mbps para 2,5 Gbps e a seguir para 10 Gbps poderão ser feitas sem a necessidade de se trocar os amplificadores e multiplexadores WDM.

- Transparência aos sinais transmitidos: podem transmitir uma grande variedade de sinais. Por não haver envolvimento de processos elétricos, diferentes taxas de transmissão e sinais poderão ser multiplexados e transmitidos para o outro lado do sistema sem que seja necessária uma conversão óptico-elétrica. A mesma fibra pode transportar sinais PDH, SDH e ATM de maneira transparente.

- Permite crescimento gradual de capacidade: um sistema WDM pode ser planejado para 16 canais, mas iniciar sua operação com um número menor de canais. A introdução de mais canais pode ser feita simplesmente adicionando novos equipamentos terminais.

- Reuso dos equipamentos terminais e da fibra: permite o crescimento da capacidade mantendo os mesmos equipamentos terminais e a mesma fibra.

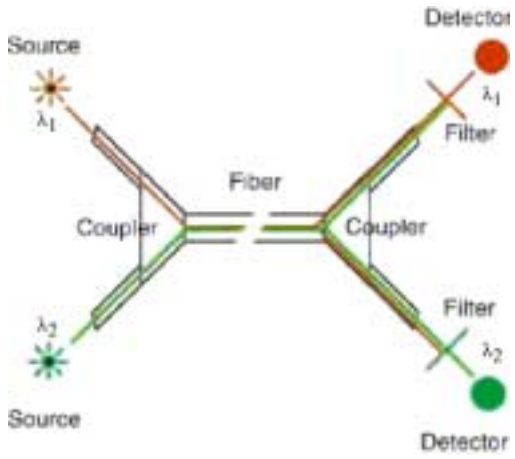


Fig. 11 – DWDM com acopladores e filtros

Além de aumentar a capacidade disponível exponencialmente em fibra embutida, o DWDM tem a vantagem de não precisar de equipamentos finais para ser implementado. São colocados lasers de DWDM, transponders, amplificadores, multiplexadores add/drop e filtros em cima de arquiteturas de redes já existentes. Outra vantagem é que esta tecnologia obedece ao padrão de fibra G.652 (monomodo) que é utilizado na maioria dos backbones de fibra óptica.

Os transmissores são os geradores de sinal, são eles que transformam os sinais elétricos que chegam, em pulsos luminosos. Na outra ponta da fibra devemos ter os receptores (fotodetectores) que farão o contrário, transformarão os sinais ópticos em sinais elétricos. Em geral, em sistemas DWDM, lasers semicondutores são utilizados como fonte de luz, pois apresentam melhor performance em fibras monomodo. Sua luz é monocromática, compacta, estável e duradoura. O modelo de laser mais utilizado é o DFB (Distributed Feedback), cujo comprimento de onda se encontra na casa dos 1520-1565 nm, e é capaz de atingir altas velocidades na fibra. Deve-se ter uma atenção especial com as fontes luminosas, pois elas costumam ser os elementos mais caros do sistema.

Devido ao fato dos sistemas DWDM enviarem sinais de diversas fontes através de uma fibra monomodo (são fibras que só suportam um único raio luminoso em seu interior por vez) são necessários os multiplexadores para combinar os sinais. Porém, para converter os sinais ópticos que chegam de diversos formatos a fim de multiplexá-los, primeiramente é necessário processá-los num *transponder*. O transponder transforma os sinais ópticos de volta para sinais elétricos, redimensiona, “reforma” e retransmite os sinais transformando-os de volta em sinais ópticos, cada um com comprimento de onda específico, capaz de passar pelo multiplexador DWDM.

Os multiplexadores (Multiplexador Óptico - OM) convergem estes raios luminosos em um único raio capaz de viajar pela fibra. Do outro lado da fibra no entanto é necessário que hajam demultiplexadores (Demultiplexador Óptico - OD) capazes de separar os comprimentos de onda e redirecioná-los a seus respectivos destinos.

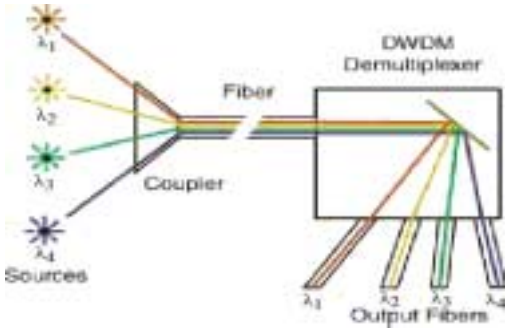


Fig. 12 – Esquema de um demultiplexador DWDM

DWDM combina múltiplos sinais ópticos de forma que eles possam ser ampliados como um grupo e possam ser transportados sobre uma única fibra, aumentando sua capacidade. Cada sinal transmitido pode estar em uma taxa diferente (OC-3/12/24, etc) e em um formato diferente (SONET, SDH, ATM, dados, etc) por exemplo, uma rede DWDM com uma mistura de sinais de SONET que operam a 2,5 Gbps (OC-48) e 10 Gbps (OC-192), em cima de uma infra-estrutura de DWDM, podem alcançar capacidades de mais de 40 Gbps. Futuros terminais de DWDM levarão até 80 comprimentos de onda de OC-48, um total de 200 Gbps, ou até 40 comprimentos de onda de OC-192, um total de 400 Gbps, a qual capacidade é suficiente para transmitir 90.000 volumes de uma enciclopédia em um segundo.

A tecnologia que permite esta alta velocidade de transmissão de alto-volume está no amplificador óptico. Amplificadores ópticos operam em uma faixa específica do espectro de freqüência e são aperfeiçoados para operação com a fibra existente e torna possível impulsionar sinais de ondas de luz e assim aumenta seu alcance sem antes convertê-los para forma elétrica.

Considere a seguinte analogia, imagine a fibra como sendo uma estrada de várias pistas. Sistemas TDM tradicionais utilizariam uma única pista desta estrada. Em rede óptica, sistemas DWDM teriam acesso a novas pistas na estrada (aumentando o número de comprimentos de onda na fibra já instalada). Um benefício adicional de rede óptica é que a estrada é cega ao tipo de tráfego. Por conseguinte, os veículos na estrada podem levar pacotes de ATM, SONET, SDH e IP.

DWDM também dá aos provedores de serviços a flexibilidade para ampliar a capacidade em qualquer porção de sua rede, uma vantagem que nenhuma outra tecnologia pode oferecer.

Portadoras podem endereçar problemas de áreas específicas que estão congestionadas por causa de altas demandas de capacidade, isto é especialmente útil onde múltiplos anéis se cruzam entre dois nós, resultando em uma fibra sobrecarregada.

Provedores de serviços que procuram novos e criativos caminhos para gerar renda, enquanto satisfazem completamente as variadas necessidades dos seus clientes, podem muito bem beneficiar de uma infra-estrutura DWDM.

Dividindo e mantendo comprimentos de ondas diferentes dedicados para clientes diferentes, por exemplo, os provedores de serviço podem alugar um comprimento de onda individual ao invés de colocar uma fibra inteira, para uma alta utilização, de seus clientes empresariais.

Comparando com aplicações baseadas em repetidores utilizados em transmissões TDM, uma infra-estrutura DWDM aumenta as distâncias entre os elementos da rede, um

grande benefício para provedores de serviços interurbanos que reduzem significativamente seus investimentos iniciais de rede. O amplificador óptico de fibra do sistema DWDM permite um provedor de serviço economizar custos ampliando sinais ópticos sem os converter para sinais elétricos.

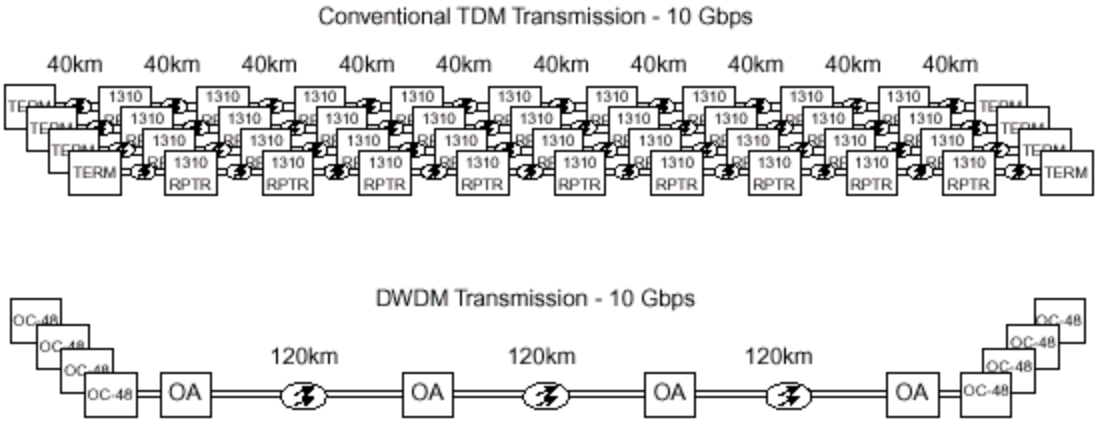


Fig. 13 – Eliminação de regeneradores DWDM

O uso de amplificadores é exemplificado na figura acima. No método TDM é necessário um repetidor a cada 40 Km, para cada canal (fibra). No método DWDM é necessário um amplificador a cada, aproximadamente, 120 Km, sendo que cada fibra pode ter vários canais. Usando menos regeneradores em redes interurbanas teremos menos interrupções e melhor eficiência.

4.3. TOPOLOGIAS DE REDE

4.3.1. PONTO-A-PONTO

Topologias ponto-a-ponto podem ser implementadas com ou sem *filtros add and drop (OADM)*. Esta topologia se caracteriza pela alta velocidade, entre 10 e 40 Gbps, e pela alta integridade do sinal. A distância entre transmissores e receptores pode ser de centenas de quilômetros.

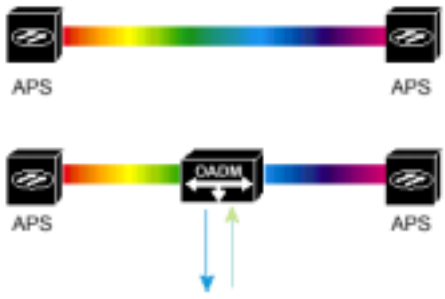


Fig. 14 – Topologia ponto-a-ponto

4.3.2. ANEL

Topologias em anel são as mais comuns em redes metropolitanas. A taxa de transmissão está entre 622 Mbps e 10 Gbps por canal.

No hub o anel é iniciado, terminado e gerenciado, e nele é feita a conexão com outras redes. Nos OADM, um ou mais comprimentos de onda são inseridos ou retirados, e o restante dos comprimentos de onda são transparentes. A desvantagem é que o sinal está sujeito a perdas e amplificadores podem ser necessários.

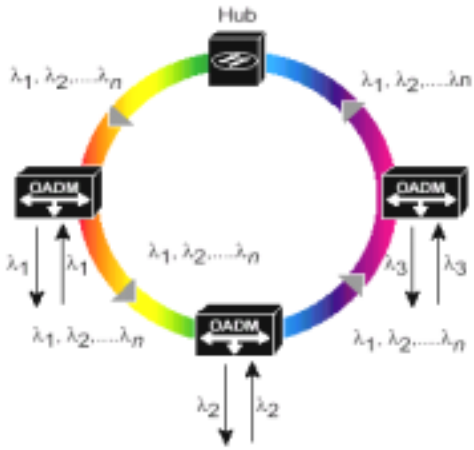


Fig. 15 – Topologia em anel

4.3.3. MISTA

Com o desenvolvimento das redes ópticas, topologias mistas se firmarão como sendo o tipo mais difundido de arquitetura de rede. Isso será possível devido à mobilidade que os OADM trazem à rede em conjunto com os switches. Topologias diferentes poderão ser interconectadas facilmente.

Tudo isso, no entanto implicará num alto grau de inteligência da rede no que se diz respeito ao gerenciamento e aproveitamento da banda disponível. Visto isso, um protocolo baseado em MPLS (MultiProtocol Label Switching) está sendo desenvolvido para dar suporte a rotas em redes puramente ópticas. Um comprimento de onda ainda não determinado deverá ser reservado para carregar mensagens de gerenciamento através dos elementos de uma rede mista.

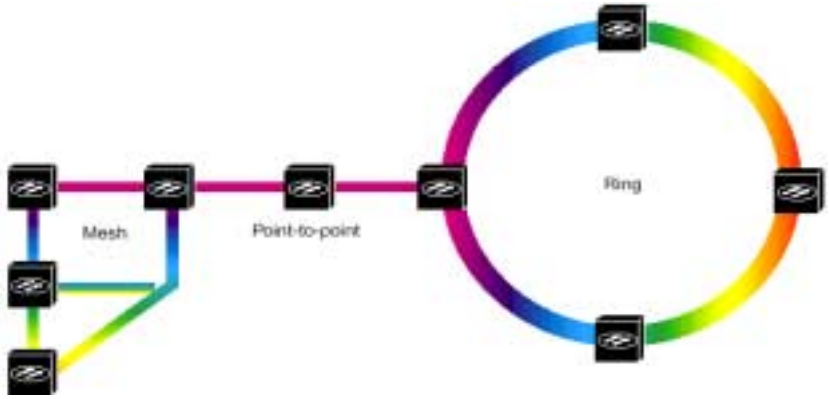


Fig. 16 – Topologia mesh

4.4. EXEMPLO DE REDE

Na figura abaixo temos um exemplo de uma rede metropolitana puramente óptica misturando diferentes topologias e utilizando equipamentos DWDM, que são responsáveis por inserir e retirar os comprimentos de onda que serão utilizados.

Por trás dos equipamentos ópticos podemos observar o uso de equipamentos de rede que não sofrem nenhum tipo de influência dos equipamentos DWDM, e desse modo podemos dizer que os equipamentos DWDM são transparentes em relação aos equipamentos de rede.

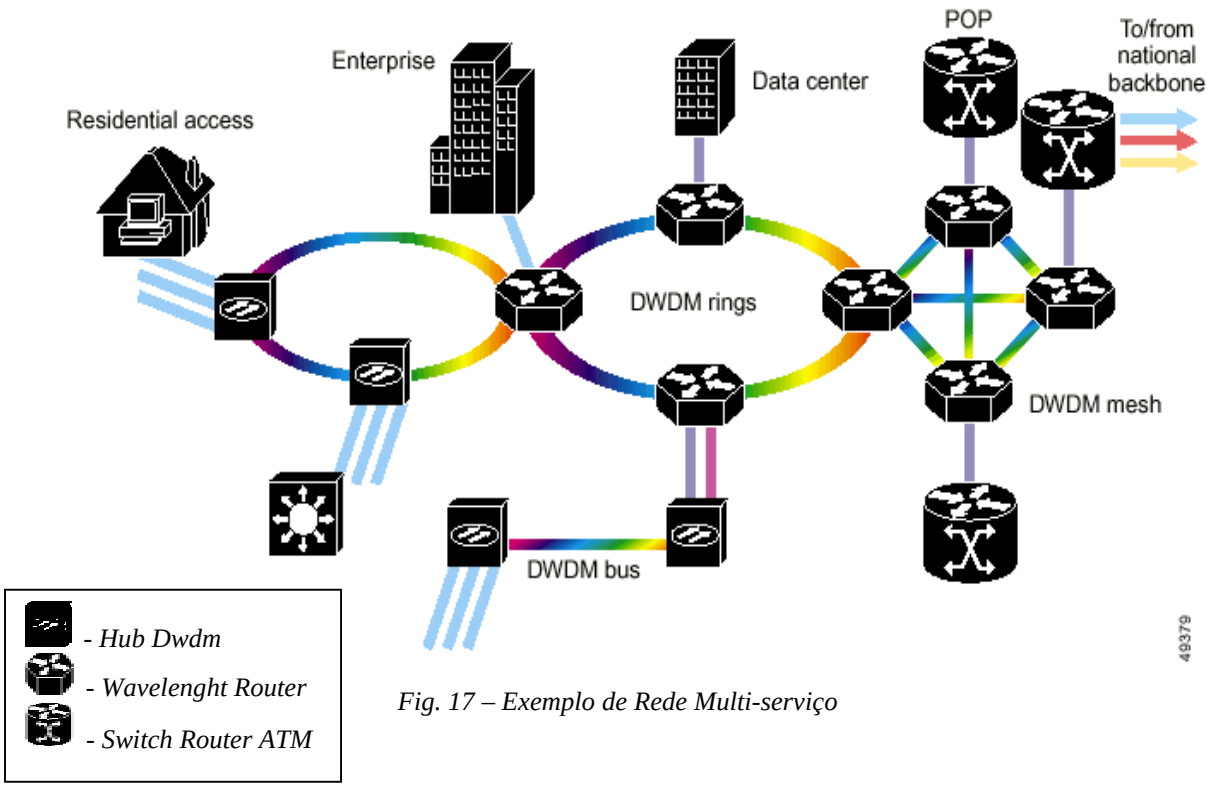


Fig. 17 – Exemplo de Rede Multi-serviço

5. CONCLUSÃO

As tecnologias para fibras ópticas estão cada vez mais desenvolvidas e certamente as redes terão backbones ópticos. Devido à capacidade do DWDM de transportar diversas tecnologias e possibilitar o maior transporte de tráfego sobre a fibra, o DWDM torna-se uma peça importante na integração das redes.

As principais vantagens do DWDM são:

- rapidez de instalação;
- escalabilidade e flexibilidade na hora da expansão;
- otimização do uso da fibra.

Sua principal desvantagem é o alto custo dos equipamentos.

A característica de escalabilidade do DWDM é de grande importância devido à rápida evolução da Internet.

No projeto de uma rede DWDM deve-se levar em consideração o tipo de fibra usado, a forma de gerenciamento e a melhor topologia a ser empregada.

Visto todos esses benefícios, podemos dizer que a implementação de uma rede baseada em DWDM é um bom negócio que certamente tem lugar assegurado no futuro fornecendo a banda necessária para o tráfego de grandes quantidades de dados.

6. BIBLIOGRAFIA

Notas Técnicas publicadas pelo CBPF

"Redes de Computadores", por Leonardo Ferreira Carneiro, Nilton Costa Braga e Nilton Alves Jr.

"Tutorial: Redes ATM", por Carlil G. F. Macedo, Nilton Costa Braga e Nilton Alves Jr.

"Protocolos TCP/IP", por Nilton Alves Jr.

Revista Redes

http://www.fbnet.pt/red/0101/a02-00-00.shtml

Sistema deTransporte DWDM

http://www.poncedaher.com.br/papers/dwdm/dwdm03.htm

DWDM

http://lci.upf.tche.br/~27027/die705/

TELWEB

http://www.telweb.hpg.ig.com.br/tecno.htm

Network World Telecom – Edição nº 8 (março/99)

http://www.uol.com.br/networkworld/networkworld/nwt08/esp_03.htm

RNP News Generation – Vol.2 – nº 8

http://www.rnp.br/newsgen/9802/gbe-intr.shtml

Terawave Communications

http://www.terawave.com/fiber_dwd.shtml

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul

http://penta.ufrgs.br/homeosi.htm

Curso de Redes de Computadores – IBILCE – UNESP

http://www.acme-ids.org/redes/

Oniko Site

http://www.geocities.com/onikobr/cabea.html

Planeta Celular

http://www.planetacelular.com.br/tutorias2.htm

Redes

http://www.webpuc.hpg.ig.com.br/saibamais.html

Cisco Systems, Inc.

http://www.cisco.com/mm/metro/15540/15540_ito/flash/index_15540.html

http://www.cisco.com/warp/public/779/servpro/solutions/optical/ons15200/

http://www.cisco.com/warp/public/779/servpro/solutions/optical/ons15454

Introduction to DWDM for Metropolitan Networks – Apostila Cisco Systems, Inc.

http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/mels/dwdm/

Cisco e-learning

http://www.cisco.com/E-Learning/cmn/vod4e/public/dahaywar_10_19_2001_2_41_36