



FACULDADE DE INFORMÁTICA E ADMINISTRAÇÃO PAULISTA
CENTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO
CURSO DE COMUNICAÇÃO DE DADOS E CONVERGÊNCIA
TECNOLÓGICA

OUTROS TRABALHOS EM:
www.projetoderedes.com.br

Usando DWDM em redes Wan's e Lan's

Arlindo Batista Xavier Filho

São Paulo

2004

FACULDADE DE INFORMÁTICA E ADMINISTRAÇÃO PAULISTA
CENTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO
CURSO DE COMUNICAÇÃO DE DADOS E CONVERGÊNCIA
TECNOLÓGICA

Usando DWDM em redes Wan's e Lan's.

Arlindo Batista Xavier Filho

Orientador: Professor Anselmo Luiz de Carvalho.

Trabalho apresentado ao
Departamento de Pós-Graduação da
Faculdade de Informática e Administração
Paulista para obtenção do título de
“Especialista em Comunicação de
Dados”.

São Paulo

2004

Orientador:

Professor: Anselmo Luiz de Carvalho

Banca:

São Paulo,

2004

“O temor do Senhor é o
princípio do conhecimento...”

Provérbios 1:7.

Dedicatória

Dedico esta obra aos meus familiares.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus que nos deu força a chegar até o fim deste curso de Pós-Graduação. Agradeço à Faculdade de Informática e Administração Paulista por acreditar em nossa força e nos ter dado a oportunidade de sermos seu aluno. Agradeço ao Coordenador do Curso Sr. Professor Carlos Alberto Crepaldi. Agradeço ao meu coordenador Sr Professor Anselmo Luiz de Carvalho pela dedicação apresentada. Agradeço aos meus pais Arlindo Batista Xavier e Maria Bezerra Xavier pela educação a mim concedida. Agradeço a minha irmã Severina Cristina Batista Xavier, pela ajuda, compreensão e estímulo. Agradeço aos meus amigos pelo apoio. Agradeço ao senhor Eduardo Barrios pela facilitação de horários para freqüentar o curso. Agradeço aos meus colegas Yran Pascoal Eloi dos Santos e Cláudio Barbosa de Herrera pela ajuda desprendida nesse último ano. Agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desta obra.

SUMÁRIO

SUMÁRIO DE FIGURAS

SUMÁRIO DE TABELAS

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E CONVENÇÕES

RESUMO

ABSTRACT

1	INTRODUÇÃO.....	17
2	CONHECENDO AS FIBRAS ÓPTICAS	18
2.1	Introdução as Fibras Ópticas.....	18
2.2	O que é a Fibra Óptica?	18
2.3	Partes de uma Fibra Óptica	19
2.4	Como a luz é guiada?	21
2.5	Modos de uma Fibra Óptica	23
2.6	Fibras tipo Multimodo	24
2.7	Fibras tipo Monomodo	26
3	FIBRA ÓPTICA.....	28
3.1	Funcionamento da Fibra Ótica	28
3.2	Fontes luminosas.....	28
3.2.1	Diodos emissores de luz	29
3.2.2	Diodos laser de injeção	30
3.3	Detectores de luz.....	31
4	REDES DE COMPUTADORES	33
4.1	Conhecendo as Redes	33
4.2	Redes Locais (LANs)	34

4.3	Tipos de redes locais	35
4.3.1	Ethernet.....	35
4.3.2	Fast-Ethernet.....	36
4.3.3	Token-Ring	37
4.3.4	FDDI.....	38
4.4	Arquitetura de redes locais	40
4.4.1	Hubs.....	41
4.4.2	Patch-Panels	41
4.4.3	Repetidores	42
4.4.4	Bridges	42
4.4.5	Roteadores	44
4.4.6	Gateways	45
4.4.7	Switches	46
4.5	Redes Metropolitanas (MANs)	47
4.6	Redes de Longa distância (WANs)	48
5	MULTIPLEXAÇÃO	50
5.1	Compartilhamento de um canal	50
5.2	Multiplexação por divisão de frequência – FDM	50
5.3	Multiplexação por divisão de tempo – TDM.....	52
5.4	Multiplexação estatística por divisão de tempo - STDM	54
5.5	Multiplexação do comprimento de onda WDM.....	56
6	DWDM.....	58
6.1	O sistema DWDM.....	58
6.2	DWDM, chave tecnológica para integração das redes de dados, voz e imagem de altíssima capacidade	61

7	APLICAÇÕES	65
7.1	Aplicando DWDM em Redes Metropolitanas (WANS)	65
7.1.1	Topologias de redes	66
7.2	Aplicando DWDM em Redes Locais (LANS)	69
8	CONCLUSÃO	71
9	GLOSSÁRIO	73
10	BIBLIOGRAFIA	76
10.1	Livros	76
10.2	Publicações	77
10.3	Sites	78

SUMÁRIO DE TABELAS

Tabela 1 - Lei de Snell	21
Tabela 2 - Formato do frame do Token que trafega na rede o qual dá a permissão para a transmissão.	37
Tabela 3 - Formato do bloco de dados Token-Ring - 802.5.....	38
Tabela 4 - Formato do bloco do Token.....	40
Tabela 5 - Formato do bloco de dados do FDDI.	40
Tabela 6 - Construção de quadro - Operação do STDm.....	56

SUMÁRIO DE FIGURAS

Figura 1 - Fibra Óptica - O Núcleo.....	19
Figura 2 - Fibra Óptica - Camada Protetora (casca)	20
Figura 3 - Fibra Óptica - Capa protetora.....	20
Figura 4 - Fibra Óptica - Funcionamento	20
Figura 5 - Fibra Óptica - Perfis gradual e degrau.....	22
Figura 6 - Padrões de Modos guiados em Fibras Ópticas	24
Figura 7 - Fibra Óptica – Modos guiados e dispersão modal	26
Figura 8 - Fibra Óptica Monomodo – Guia Monomodo.....	27
Figura 9 - Fibra Óptica Monomodo - Dispersão Cromática.....	27
Figura 10 - Seção transversal de um LED	30
Figura 11 - Seção transversal de um diodo laser de injeção	31
Figura 12 - Uma MAN.	48
Figura 13 - Uma WAN.....	49
Figura 14 - Multiplexação por divisão de frequência	51
Figura 15 - Solenóide de um canal analógico	53
Figura 16 - Digitalização do canal analógico	53
Figura 17 - Multiplexação por divisão do tempo - TDM	54
Figura 18 - Quadro de dados do sistema STDM.....	55
Figura 19 - O Sinal DWDM	59
Figura 20 – Sistemas TDM x Sistemas DWDM.....	63
Figura 21 - Topologia ponto-a-ponto	66
Figura 22 - Topologia Anel.....	67
Figura 23 - Topologia Mista	68

Figura 24 - Exemplo de aplicação e topologias DWDM.....	69
Figura 25 - Futuro das conexões ópticas "Caso TV a Cabo"	72

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ATM: Asynchronous Transfer Mode

BPS: Taxa de transmissão de bits por unidade de tempo segundo. Bits por segundo.

DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing

IP: Internet Protocol

ITU: International Telecommunications Union

LANs: Local Area Network

LP: Linearmente Polarizados.

Mbits/s: Taxa de transmissão de bits por unidade de tempo, ou seja, Mega bits por segundo.

Mbps: O mesmo que Mbits/s.

MPs: Módulos Processadores.

OA: Optical Amplifier

OADM: Optical Add/Drop Multiplexor

RIT: Reflexão Interna Total.

SDH: Synchronous Digital Hierarchy

SONET: Synchronous Optical Network

Tbps: Taxa de transmissão de bits por unidade de tempo, ou seja, Tera bits por Segundo.

TDM: Time Division Multiplexing

WDM: Wavelength Division Multiplexing

RESUMO

Este trabalho traz os conceitos utilizados em Fibras Ópticas, descrevendo sua funcionalidade, seus diversos tipos, suas partes, mostrando com simplicidade como funciona uma fibra óptica.

Temos como objetivo fomentar a curiosidade de novos pesquisadores para uma tecnologia que vem crescendo e será padrão para redes de comunicação baseadas em fibras ópticas o DWDM.

Utilizamos o método de pesquisa bibliográfica para servir de base à obra a fim de auxiliar na fixação dos conceitos.

Também descrevemos os diversos tipos de redes existentes, preparando o leitor para entender os conceitos da convergência de padrões ópticos e mostrar de maneira prática, como o sistema DWDM trará soluções de largura de banda para as atuais redes metropolitanas.

Estamos vivendo uma revolução tecnológica no campo das telecomunicações, a cada dia novas tecnologias são criadas e melhoradas, cada vez mais as empresas necessitam de novas aplicações e utilizam mais e mais largura de banda. É nesse cenário que tecnologias como o DWDM vem mostrar sua funcionalidade e cada vez mais se consolidar como tecnologia padrão das futuras redes ópticas.

ABSTRACT

This paper brings the concepts used in fiber optical, describing your functionality, your diverse types, and your parts, showing with simplicity as an fiber optic works.

We have as objective foments the new researchers' curiosity for a technology that is growing and it will be standard for communication nets based on fibers optics DWDM.

We used the method of bibliographical research to serve from base to the work in order to assistant in the fixation of the concepts.

We also described the several types of existent nets, preparing the reader to understand the concepts of the convergence of optical patterns and to show in a practical way, as the system DWDM will bring solutions of bandwidth for the current metropolitan nets.

We are living a technological revolution in the field of the telecommunications, every day new technologies are created and gotten better, more and more the companies need new applications and they use bandwidth more and more. It is in that scenery that technologies as DWDM comes to show your functionality and more and more consolidate as pattern technology of the future opticals nets.

1 INTRODUÇÃO

Durante as últimas décadas, tivemos o desenvolvimento das tecnologias voltadas à infra-estrutura óptica. A alta demanda pelos serviços de telecomunicações fez com que essa tecnologia fosse absorvida rapidamente. As empresas de telecomunicações preocupadas com a interligação das redes de médio e longo alcance colocaram a fibra óptica no meio dos oceanos e cruzando a maior parte dos continentes. Hoje essas redes são usadas para a transmissão de grandes quantidades de dados e também usadas para oferecer uma plataforma tal que seja confiável e segura.

Muitas dessas redes trabalham em seu limite, pois a demanda por largura de banda e novas aplicações tem aumentado muito nos últimos anos.

É nesse cenário que o DWDM vem trazer soluções e despontar como tendência de padrão para as futuras redes com tecnologia óptica.

2 CONHECENDO AS FIBRAS ÓPTICAS

2.1 Introdução as Fibras Ópticas

Desde a antiguidade o homem vem se valendo da ótica para transmitir informações de um lugar a outro distante. Utilizava as fontes luminosas existentes para esse fim. O sol foi o primeiro sistema de comunicação óptica conhecida.

Desde então tivemos uma grande evolução, passando dos sinais de fumaça e chegando ao laser.

A comunicação se desenvolveu, os meios de transmissão foram criados e uma crescente demanda por informação, através da transmissão de dados, tais como: e-mail, vídeo de alta resolução, multimídia e voz. Fez-se necessário o desenvolvimento do meio ótico conhecido (Fibra Óptica), criando-se novos padrões.

2.2 O que é a Fibra Óptica?

A Fibra Óptica¹ é um fio cilíndrico de vidro (sílica) ou plástico, transparente para a faixa do espectro da luz visível e infravermelho próximo e flexível, com dimensões microscópicas, comparadas às de um fio de

¹ FIBRA ÓPTICA é o fio fabricado de material dielétrico, revestido por outro material dielétrico.

cabelo humano, misturados a outras substâncias com o objetivo de criar dois cilindros concêntricos, sendo o cilindro interior denominado núcleo e o exterior casca. Pode-se ter ainda um acabamento, geralmente de material resistente a atrito e tração chamado de capa protetora.

2.3 Partes de uma Fibra Óptica

Em telecomunicações, a seção transversal da fibra é circular, porém para outras aplicações esta pode ser, por exemplo, elíptica.

Na estrutura da Fibra Óptica, temos o núcleo (Figura 1), podendo ser formado por várias fibras, a casca (Figura 2) e a capa protetora (Figura 3).

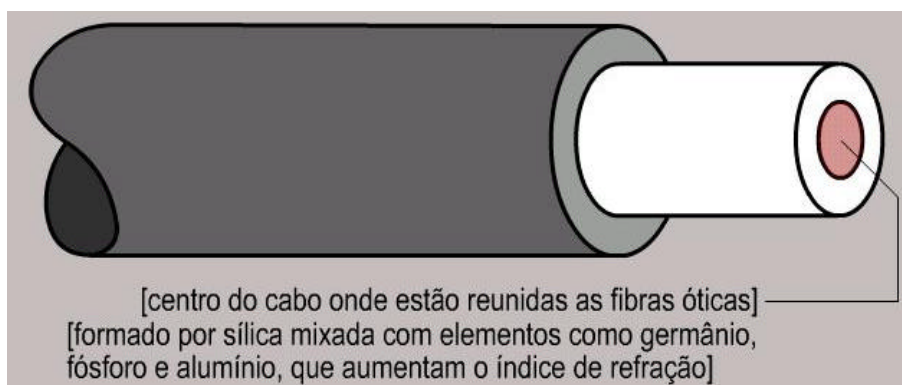


Figura 1 - Fibra Óptica - O Núcleo

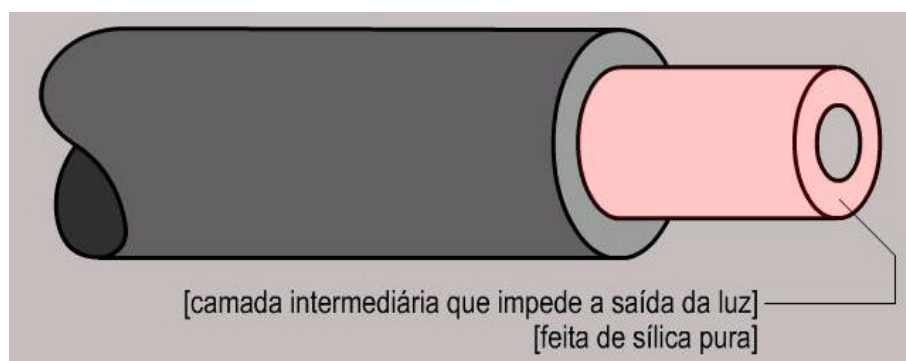


Figura 2 - Fibra Óptica - Camada Protetora (casca)

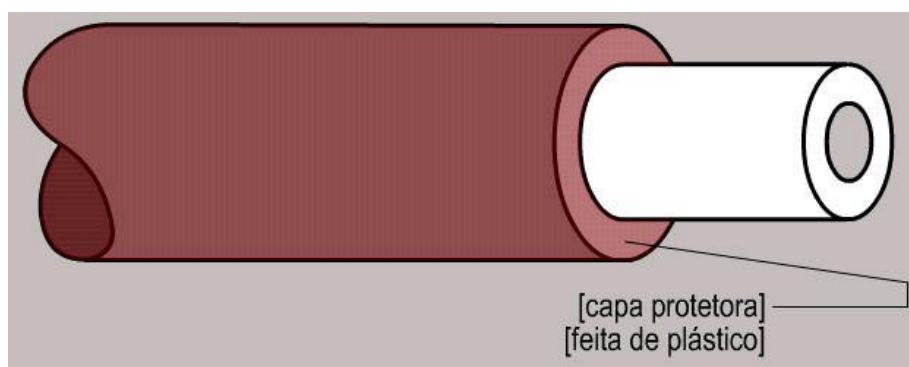


Figura 3 - Fibra Óptica - Capa protetora

A composição da casca da Fibra Óptica é de material com índice de *refração*² ligeiramente inferior ao do núcleo, o qual oferece condições de propagação da energia luminosa³ através do núcleo da Fibra Óptica, criando assim, um guia de onda luminoso. Seu mecanismo consiste, em termos de ótica geométrica, no processo de reflexão interna total⁴, ocorrendo quando o feixe de luz emerge de um meio denso (núcleo) para um menos denso (casca). A figura 4 mostra o caminho percorrido pelo feixe de luz.

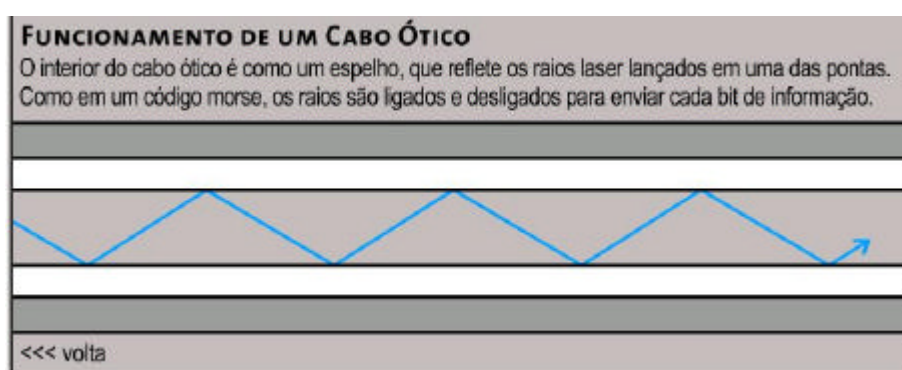


Figura 4 - Fibra Óptica - Funcionamento

² REFRAÇÃO é a mudança de velocidade o qual provoca um desvio na luz quando se troca do meio ar para o meio vidro.

³ ENERGIA LUMINOSA ou simplesmente luz.

⁴ REFLEXÃO INTERNA TOTAL pelo Matemático Pierre Simon de Fermat, nascido em 1601 – França descreveu as leis de Reflexão e Refração.

2.4 Como a luz é guiada?

O mecanismo que guia as ondas de luz dentro da Fibra Óptica é baseado na Reflexão Interna Total (RIT) das ondas, através do ajuste do índice de refração entre o núcleo e a casca, segundo a lei de Snell⁵.

Segundo a Lei de Snell temos:

$$n_0 \text{ sen } \theta = n_1 \text{ sen } \theta'$$

Tabela 1 - Lei de Snell

Vemos que:

n_0 é o índice de refração do núcleo;

n_1 é o índice de refração da casca;

θ é o ângulo entre o raio incidente;

θ' é o ângulo de refração;

A fibra Óptica é projetada para que o ângulo de incidência dos raios de luz seja maior que o crítico, permitindo então a ocorrência da reflexão total.

A diferença do índice de refração do núcleo em relação à casca é representada pelo perfil de índices de refração da Fibra Óptica. Essa

⁵ SNELL – Físico Willebröd Snell nasceu em Leiden na Holanda em 1581, descobriu a lei da refração, porém não a publicou.

diferença é obtida utilizando-se materiais dielétricos distintos ou através da adição de materiais semicondutores ao material dielétrico. Podemos obter os índices de refração de modo degrau ou gradual.

Sendo assim é originados diferentes formatos de perfil de índices conforme vemos na figura 5.

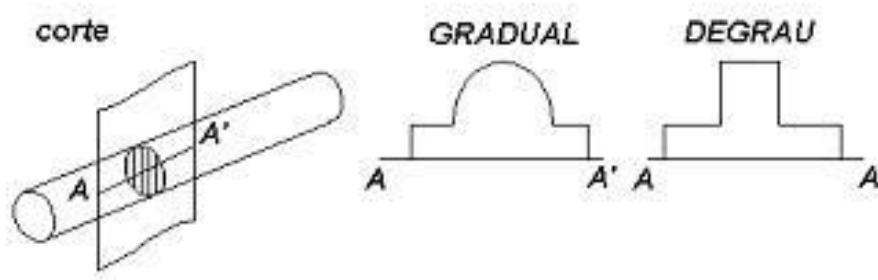


Figura 5 - Fibra Óptica - Perfis gradual e degrau

Os diferentes tipos de fibras óticas se dão, pelas diferentes alternativas quanto ao material e ao perfil de índices de refração.

A capacidade de transmissão expressa em banda passante, depende da geometria e do perfil de índices de refração da Fibra Óptica. Já o tipo de material usado determina às frequências (comprimento de onda) óticas suportadas e níveis de atenuação correspondentes.

As fibras óticas são divididas em: Fibras monomodo e Fibras multimodo.

2.5 Modos de uma Fibra Óptica

A luz é um campo eletromagnético cuja distribuição espacial recebe o nome de modo. Dentro da Fibra, os raios de luz em conjunto que sofrem interferência construtiva constituem-se em modos do campo eletromagnético, são então configurações geométricas possíveis dos vetores do campo elétrico e campos magnéticos, distribuídos transversalmente à direção de propagação do vetor de onda.

Cada um dos modos guiados pela Fibra Óptica, além de ser diferentes dos demais pela sua característica de distribuição espacial, viaja a uma velocidade diferente dentro da Fibra. Este fato é responsável por um fenômeno chamado de Dispersão Intermodal que, em conjunto com o fato de que cores diferentes também viajam a velocidades diferentes, ocasiona o alargamento temporal dos pulsos de luz propagados pela Fibra.

Para entendermos melhor, vemos na figura 6, a qual mostra quatro modos guiados por uma Fibra com perfil de índice de refração tipo degrau.

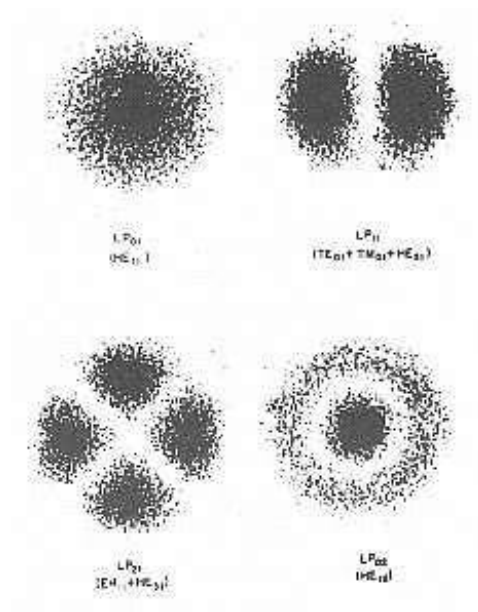


Figura 6 - Padrões de Modos guiados em Fibras Ópticas

Conseguimos essas imagens, projetando a luz de saída de uma Fibra Óptica em um anteparo.

2.6 Fibras tipo Multimodo

Foram utilizadas largamente pelas operadoras de telecomunicações até o final da década de 1980, sendo depois substituídas pela fibra monomodo. Elas podem ser gradual ou degrau. A Fibra gradual foi a utilizada em telecomunicações.

Para as aplicações em Lans⁶, foram utilizadas pela grande maioria das empresas, pois o seu custo é mais acessível, visto que o seu núcleo tem o diâmetro maior, não sendo necessários transmissores e receptores caros,

⁶ LANS – Redes Locais de computadores, onde podem estar interligadas a outras redes e que podem conter diversos periféricos e serviços.

e sua manutenção fica mais barato, pois os equipamentos envolvidos não requerem uma tecnologia muito cara, visto que os transmissores e os receptores são maiores e mais baratos.

Para a fibra com índice degrau, os modos que se propagam fora do eixo longitudinal da fibra têm que percorrer um caminho maior, portanto chegam atrasados, causando uma dispersão modal e provocando com isso uma interferência intersimbólica⁷, gerando erro de bit na transmissão, pois o receptor não consegue identificar o bit, ou pode identificar de maneira inversa.

Para compensar este efeito, a fibra com índice gradual possui um índice de refração que vai variar com a distancia do eixo longitudinal, ou seja, o eixo de refração vai aumentando da extremidade para o centro da fibra.

Então, como a velocidade da luz em um meio qualquer varia de acordo com o índice de refração, a velocidade de propagação da luz será menor quanto mais próxima do eixo longitudinal.

Sendo assim, quando a luz se distancia do centro sua velocidade aumenta. Isto faz com que o modo que caminha pelo centro, a pesar de ter um caminho menor a percorrer, chegue junto com os modos laterais,

⁷ INTERFERÊNCIA INTERSIMBÓLICA – É a interferência provocada pela confusão para se identificar um símbolo em nosso caso o bit. Quando as zonas de bit positivo e negativo estão muito próximas, pode-se confundir um bit positivo com o negativo, temos então a interferência intersimbólica.

evitando desta forma que ocorra dispersão modal. Vemos na Figura 7 como isso ocorre.



Figura 7 - Fibra Óptica – Modos guiados e dispersão modal

Vimos os modos (1, 2 e 3) que estão sempre alinhados. Essa compensação somente traz resultados práticos a velocidades acima de 34 Mbits/s. Temos que utilizar as fibras monomodo para velocidades superiores, porém hoje estão sendo empregadas para aplicações Gigabit Ethernet.

Uma outra característica desta fibra é a dispersão cromática, e como ela é muito menor que a dispersão modal e não é relevante nesta fibra com o uso de laser.

2.7 Fibras tipo Monomodo⁸

São as utilizadas atualmente para telecomunicações. Possuem um núcleo de 6 a 7 vezes menor que a Fibra Multimodo, sendo que apenas um modo se propaga em seu núcleo. Os modos laterais desaparecem logo no início da fibra. A Figura 8 ilustra o que foi dito acima.

⁸ FIBRAS MONOMODO - são fibras que só suportam um único raio luminoso em seu interior por vez.

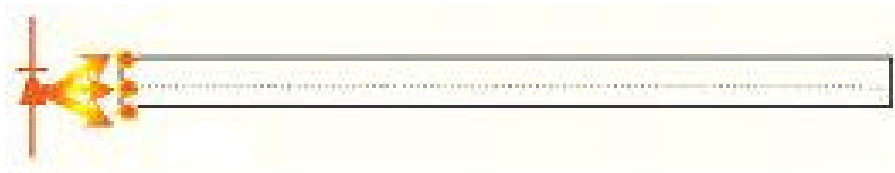


Figura 8 - Fibra Óptica Monomodo – Guia Monomodo

Então nessa fibra não temos dispersão modal, porém temos a dispersão cromática.

Um laser emite vários *cromas* (cores) e cada cor se propaga com uma velocidade diferente na fibra. Isso faz com que ocorra a dispersão cromática, gerando interferência intersimbólica e conseqüentemente taxa de erro de bit. A Figura 9 exemplifica o que foi dito acima.

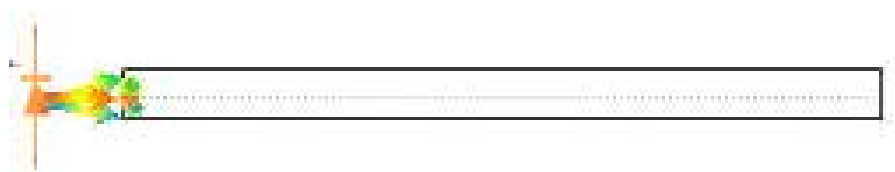


Figura 9 - Fibra Óptica Monomodo - Dispersão Cromática

3 FIBRA ÓPTICA

3.1 Funcionamento da Fibra Ótica

Como vimos no capítulo anterior, as fibras ópticas funcionam através da energia luminosa, podendo esta ser visível ou não.

O Transmissor é o equipamento que irá transformar a energia elétrica em energia óptica ou luminosa. Essa entrará em uma das extremidades da Fibra óptica e ao chegar do outro lado, um receptor irá fazer a conversão contrária.

O Transmissor mais usado é o *Led*⁹ que irá enviar os sinais luminosos pelo núcleo da Fibra óptica. Quando o sinal chega na ponta receptora da transmissão, ele é reconstruído na sua forma original com um foto-diodo.

Caso a distância entre o receptor e o emissor seja muito grande, é utilizado um dispositivo chamado de repetidor de fibra óptica, o qual pode ser colocado em posições estratégicas para amplificar o sinal de forma que ele alcance seu destino com força total.

3.2 Fontes luminosas

⁹ LED – Diodo emissor de luz, que transforma pulsos de energia elétrica em energia óptica. É parte do Codec/Decodex ou codificador/decodificador de sinais ópticos.

As fontes luminosas para sistemas de fibras ópticas devem converter a energia elétrica dos circuitos do terminal que as alimentam em energia óptica (fótons) de modo que permita o acoplamento efetivo da luz à fibra óptica.

As duas fontes que são fabricados atualmente são o diodo emissor de luz de superfície (LED) e o diodo laser de injeção (ILD).

3.2.1 Diodos emissores de luz

Na Figura 10, vemos que o LED emite luz sobre um espectro relativamente amplo, porém dispersa a luz emitida sobre um ângulo bastante grande. Com isso o LED acopla uma potência muito menor a uma Fibra com um determinado ângulo de aceitação que o ILD. As principais vantagens dos LEDs são o baixo custo e a confiabilidade elevada.

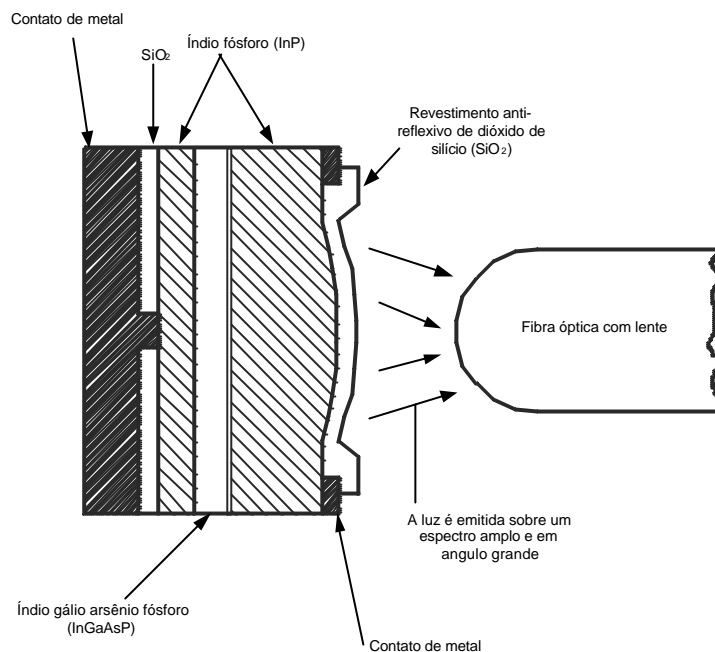


Figura 10 - Seção transversal de um LED

3.2.2 Diodos laser de injeção

Vemos na Figura 11 uma seção transversal de um ILD. Ele tem o espectro de emissão mais estreito, por é m sua capacidade de acoplar saída à guia de luz da fibra é mais eficiente. Os ILDs são muito mais caros que os LEDs e sua vida útil é pelo menos dez vezes menor que as dos LEDs.

Uma outra característica, nesse caso desvantagem, é que eles devem ser fornecidos com circuitos automáticos de controle de nível, pois a potência de saída do laser tem de ser controlada, sem contar que o dispositivo deve ser protegido de transientes da fonte de alimentação.

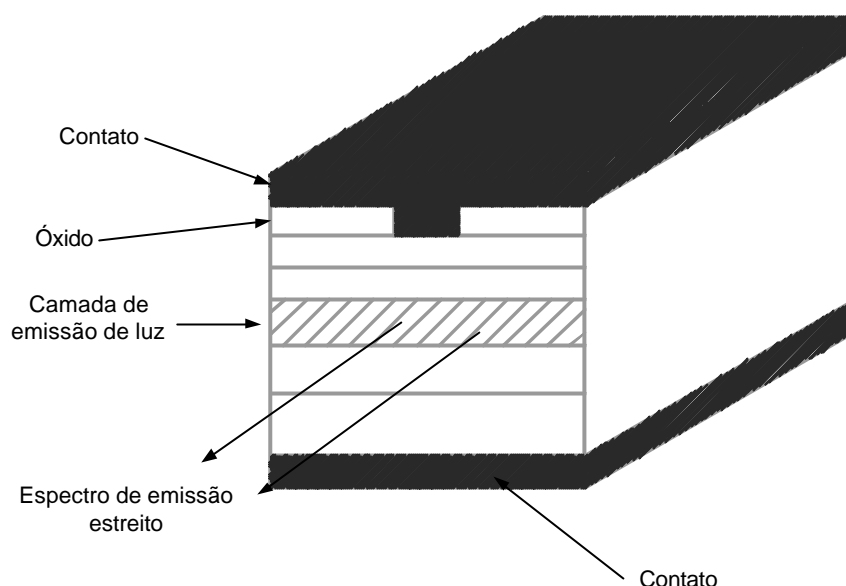


Figura 11 - Seção transversal de um diodo laser de injeção

3.3 Detectores de luz

No lado da recepção do sinal óptico, o receptor deve ser extremamente sensível, com um baixo nível de ruído. Existem dois tipos de dispositivos com essas características além de também detectar o feixe de luz, amplificá-lo e convertê-lo novamente em um sinal elétrico: o conjunto de transistor de efeito de campo¹⁰ p-i-n integrado e o fotodiodo de avalanche¹¹. No caso dos FET p-i-n, um fotodiodo é acoplado com um amplificador de alta impedância. Esse dispositivo tem com diferencial o baixo consumo com baixa sensibilidade à temperatura de operação, confiabilidade elevadíssima e facilidade de fabricação.

¹⁰ TRANSISTOR DE EFEITO DE CAMPO – FET – Field-effect transistor.

¹¹ FOTODIODO DE AVALANCHE – APD – Avalanche Fotodiode.

Já no caso dos fotodiodos de avalanche, temos um ganho superior a 100 vezes, porém ele produz ruídos que podem limitar a sensibilidade do receptor. Os dispositivos APDs exigem tensões elevadas que variam com a temperatura. Eles são muito sensíveis, porém o seu custo é alto.

4 REDES DE COMPUTADORES

4.1 Conhecendo as Redes

Uma rede de computadores é uma rede para comunicação de informações, formada por um conjunto de módulos processadores (MPs)¹², capazes de trocar informações e compartilhar recursos, interligados por um sistema de comunicação, independentemente do meio de interconexão destes meios.

O sistema de comunicação se fez necessário pela necessidade de se ter informações únicas e centralizadas, pela necessidade de se compartilhar recursos e informações. Ele vai se constituir por um arranjo topológico interligando os vários MPs através de enlaces físicos¹³ e de um conjunto de regras definidas com o intuito de organizar a comunicação¹⁴. As redes de computadores confinadas ou não que distam de poucos metros dos MPs até a alguns poucos quilômetros são chamadas de redes locais (LANs).

A seguir, vamos ver as seguintes denominações para redes LANs, MANs e WANs.

¹² MPs - Módulos Processadores ou qualquer equipamento capaz de se comunicar através da rede por troca de mensagens. Temos como exemplo o microcomputador, uma máquina copiadora, um fax modem, um computador de grande porte, um PDA, mesmo um celular, uma geladeira ou até mesmo uma máquina de café.

¹³ ENLACES FÍSICOS – ou os meios de transmissão.

¹⁴ CONJUNTO DE REGRAS – ou protocolos.

4.2 Redes Locais (LANs)

As redes locais surgiram dentro das ambientes de institutos de pesquisas e universidades. Surgiram da necessidade de interligar microcomputadores, impressoras, terminais e servidores que se proliferavam a fim de se ter unicidade nos dados e compartilhamento dos recursos.

Seu objetivo era o de poder compartilhar equipamentos e arquivos de dados, pois para cada estação de trabalho, precisava-se de uma impressora, um conjunto de software aplicativo, uma base de dados e outros recursos somente para o seu uso.

Foi iniciado na década de 1970, pelas mudanças no enfoque dos sistemas de computação que levaram em direção à distribuição do poder computacional.

Podemos caracterizar as redes locais como sendo redes que permitem a interconexão dos equipamentos de comunicação de dados numa determinada região. Essa região hoje vai de poucos metros à 25 000 metros, isso porque as limitações impostas a essas distâncias são superadas pelas técnicas utilizadas em redes locais.

Algumas características¹⁵ das LANs:

- Altas taxas de transmissão 1000 Mbps;

¹⁵ NOTA: Essas características dizem respeito à tecnologia atual empregada e dentre pouco tempo poderão não mais ter os mesmos valores associados.

- Baixas taxas de erro (de 10^{-8} a 10^{-11});
- Essas redes são de propriedade privada.

4.3 Tipos de redes locais

4.3.1 Ethernet

A rede tipo Ethernet é normalizada pelo IEEE¹⁶ como padrão IEEE 802.3 onde são definidas a sinalização elétrica e a forma de acesso ao meio¹⁷.

Este padrão utiliza o protocolo de acesso ao meio CSMA/CD, o qual opera a uma velocidade de 10 Mbps e com o controle de erros tipo CRC no bloco transmitido, esse bloco pode variar de 64bytes a 1518bytes.

O funcionamento deste protocolo é bem simples, as estações que desejam transmitir esperam até que o meio esteja livre, ou seja, elas verificam se o meio está disponível para envio dos pacotes. Quando este está livre, envia os pacotes ao meio e durante este tempo de envio, fica verificando se houve colisão, caso haja a estação aborta imediatamente o envio dos pacotes e espera por um tempo para tentar transmitir novamente.

¹⁶ IEEE – Institute of Electrical and Eletronic Engineers.

¹⁷ MEIO – Entende-se por meio o barramento ou qualquer outro meio físico de interconexão inclusive o meio wireless.

Caso várias estações tentem transmitir ao mesmo tempo, uma colisão irá ocorrer, e então teremos duas técnicas de retransmissão, vejamos:

- **Espera Aleatória Exponencial Truncada:** A estação, ao detectar uma colisão, espera por um tempo aleatório que vai de zero a um limite superior, de forma a minimizar a probabilidade de colisões repetidas. Essa técnica tem por objetivo controlar o canal e mantê-lo estável mesmo com tráfego alto, o limite superior é dobrado a cada colisão sucessiva.
- **Retransmissão Ordenada:** Após a detecção da colisão as estações só podem iniciar a transmissão em intervalos de tempo a elas pré-alocados. Ao término do envio das mensagens colididas, a estação alocada ao primeiro intervalo tem o direito de transmitir, sem a probabilidade de colisão. Caso ela não transmita a segunda estação alocada tem o direito de transmitir e assim sucessivamente.

4.3.2 Fast-Ethernet

A rede tipo Fast-Ethernet é normalizada pelo IEEE como padrão IEEE 802.3u, também é conhecida como 100baseT (100 indica a velocidade em Mbps, ou seja, 100Mbps e T indica que o meio utilizado é o par trançado).

Essa tecnologia utiliza o mesmo protocolo de acesso ao meio das redes Ethernet de 10Mbps e o mesmo cabeamento, porém operando a uma velocidade de 100Mbps.

4.3.3 Token-Ring

A rede tipo Token-Ring é normalizada pelo IEEE como padrão 802.5. As redes Token-Ring usam como meio de transmissão um barramento em forma de anel. Todo o controle dos dados transmitidos são feitos por um protocolo Token-passing.

O protocolo Token-passing funciona da seguinte forma: O *Token* é passado consecutivamente às estações liberando a permissão de transmissão dos pacotes no barramento.

Somente quem está com o Token¹⁸ pode usar o barramento para transmitir dados. Esse tipo de acesso é chamado de determinístico, pois não existe a possibilidade de colisão dos dados, pois somente uma estação pode transmitir por vez.

Esse *Token* de transmissão é gerada pela estação transmissora após o término do envio do bloco de informações, e ele é encaminhado para a estação seguinte. Vemos na Tabela 2, o formato do quadro de dados do *Token*.

Cabeçalho de início	Controle de acesso	Delimitador final
1 byte	1 byte	1 byte

Tabela 2 - Formato do frame do Token que trafega na rede o qual dá a permissão para a transmissão.

¹⁸ *TOKEN* entenda-se por *token* o bastão ou a permissão de transmissão ao meio.

Descrevemos agora o formato do Frame de dados das redes Token-Ring – IEEE 802.5.

Delimitador inicial	Controle De acesso	Controle De quadro	Endereço De destino	Endereço De origem	Dados	FSC (CRC)	Delimitador Final	Status
1 byte	1 byte	1 byte	6 byte	6 byte	Até 2048 bytes	4 byte	1 byte	1 byte

Tabela 3 - Formato do bloco de dados Token-Ring - 802.5.

4.3.4 FDDI

O FDDI¹⁹ é uma tecnologia de rede local normalizada pela ANSI na norma ANSI X3T9.5 com topologia de anel duplo, disponibilizando alta velocidade. Tem a arquitetura em anel e o controle do tráfego dos dados no barramento é feito pelo protocolo de acesso Token-passing, usando o modelo determinístico, análogo ao protocolo usado em redes locais Token-Ring.

Entre suas principais definições estão PMD e PHY (camada física) assim como MAC (camada de enlace de dados) e SMT. O número máximo de estações é 500, a extensão máxima alcança até 100 km. Uma distância máxima de 2 km é possível entre dois componentes adjacentes. Há FDDHI (rede para transmissão de dados pura de 100 Mbit/s) e FDDHII, uma rede de transmissão de dados e voz com transferência síncrona/assíncrona. FDDHII também é conhecida como Controle de Anel Híbrido (Hybrid Ring Control - HRC).

¹⁹ FDDI - Interface de Dados Distribuída por Fibra.

A rede é formada por pares de Fibra Ópticas trabalhando a uma velocidade básica de 100Mbps para a transmissão dos dados, formando dois anéis de transmissão.

Foi escolhida a Fibra Óptica como meio de transmissão pela alta taxa de transmissão: 100Mbps, já a escolha da arquitetura em anel se deu pela facilidade de ligação ponto-a-ponto em Fibra Óptica e pelo excelente desempenho da passagem do *Token*.

Uma outra característica dessa rede é sua confiabilidade. As Chaves de *bypass* desconectam da rede as estações em falha.

Os anéis funcionam em direção contrária e só um funciona, o outro é usado como backup.

Sua principal aplicação é na interconexão de componentes de redes que exigem altas velocidades, como roteadores, switches, bridges, servidores e mainframes.

Para a velocidade básica de 100Mbps temos alcances de até 2km utilizando as Fibras Ópticas Multimodo e até 500 estações por segmento de rede. Usa-se dois pares de Fibra para maior segurança, pois é proporcionado backup em caso de falhas.

As conexões de uma arquitetura de redes FDDI também podem ser feitas via cabos de cobre. Para este, a conexão recebe o nome de:

- CDDI (*Copper Distributed Data Interface*) utiliza cabos de cobre não blindados categoria UTP (*Unshielded Twisted Pair*);
- SDDI (*Shielded Twisted Pair*) utiliza cabos de cobre blindados.

2 bytes	1byte	1byte	1byte
Prefácio (originador token)	Delimitador início	Controle Frame	Delimitador fim

Tabela 4 - Formato do bloco do Token.

Preâmbulo	Delimitador Inicial	Controle	Endereço Destino	Endereço Origem		CRC	Delimitador Final	Status
6 bytes	1byte	1byte	6 bytes	6 bytes	Dados	4 bytes	1byte	1byte

Tabela 5 - Formato do bloco de dados do FDDI.

4.4 Arquitetura de redes locais

Como vimos anteriormente, os componentes de uma rede podem estar numa mesma sala ou espalhados nos diversos setores ou andares de um prédio ou em diversos prédios. Podem estar a metros ou a quilômetros de distância um do outro e conectados através de algum meio de comunicação. Sua distribuição, seu layout, ou seja, seus componentes e a maneira como estão interconectados são chamados de "*Topologia de Rede*".

Vejamos a seguir os diversos equipamentos existentes para montar as diversas formas de interconexão:

4.4.1 Hubs

O Hub é um barramento centralizado, também é conhecido como Repetidor, pois ele repete e amplifica os sinais recebidos de uma porta para todas as outras portas, simulando assim um barramento físico compartilhado.

O Hub permite conectar dois ou mais segmentos Ethernet. Permite que apenas os utilizadores compartilhem Ethernet. Os pontos de rede compartilhada recebem uma porcentagem da banda de rede, por isso que recebe o nome de "Shared Ethernet". Isto é, todos os nós do segmento Ethernet irão partilhar o mesmo domínio de colisão, ou seja, o mesmo meio.

O domínio de colisão consiste em um ou mais Hubs Ethernet e todos os nós conectados a eles. Cada aparelho dentro do domínio de colisão partilha a banda de rede disponível com os outros aparelhos no mesmo domínio.

4.4.2 Patch-Panels

O Patch Panel é um concentrador de cabos de redes locais onde todos os cabos são conectados. Ele pode ser conectado diretamente a Hubs ou a Switches, sendo seu uso indicado como painel de distribuição.

A ligação com os demais componentes (Hubs ou Switches) é feita através de pequenos cabos conectados através de conectores tipo RJ-45. Também é indicado para locais onde se têm muitos pontos de rede, para redes pequenas ou domésticas seu uso não é indicado.

4.4.3 Repetidores

São equipamentos utilizados normalmente para a interligação de duas ou mais redes idênticas. Pode também ser usados como prolongadores da distância para redes, pois estes regeneram o sinal recebido e o transmite para a outra porta. Os repetidores atuam no nível físico, recebendo e transmitindo os pacotes para a outra parte da rede ou para a outra rede.

4.4.4 Bridges

A Bridge é um equipamento utilizado para duas funções básicas: interligar redes locais próximas podendo isolar o tráfego entre ambas e para conectar duas redes distantes pela comunicação de um modem, por exemplo.

Como ela trabalha nas camadas 1 e 2 do modelo OSI²⁰, ou seja, nível físico e enlace de dados, possui a capacidade de processar e reconhecer endereços de estações dos pacotes que estão sendo transmitidos pela rede local.

A Bridge conecta os dois lados dos segmentos, pois como ela pode identificar a origem e o destino dos pacotes, pode interconectar as redes. Ela então impede que pacotes que contenham endereços gerados num mesmo segmento possam passar para o outro lado. Esse controle é feito por uma tabela de endereços que fica na Bridge.

A Bridge é um dispositivo que controla os pacotes de dados dentro de uma sub-rede, na tentativa de reduzir a quantidade de tráfego entre redes. Uma Bridge é usualmente colocada entre dois grupos separados de computadores que conversam entre si, mas não entre computadores de outros grupos.

O trabalho da Bridge é então examinar o destino dos pacotes de dados, um de cada vez e decidir se deve ou não repassá-los para o outro lado do segmento da Ethernet. O resultado é uma rede mais rápida com menos colisões. Esse processo de examinar os pacotes recebe o nome de “*filtering*” ou seja, a Bridge opera como um filtro de pacotes.

²⁰ OSI – O modelo padronizado pela ISO com a definição de 7 camadas para a comunicação de dados. Sendo elas: Física, Enlace de Dados, Rede, Transporte, Sessão, Apresentação e Aplicação.

4.4.5 Roteadores

Os roteadores são equipamentos usados para interconectar varias redes externas e internas, podendo estar distantes ou próximas umas das outras e ainda utilizando protocolos diferentes, usando para isso canais de comunicação externos de redes WANs, MANs ou mesmo LANs.

Em uma rede local, podemos usar o Roteador conectando a Switches de *backbones* Ethernet, a Roteadores de borda Internet (*backbones* Internet), a serviços de dados de concessionárias públicas como o *Frame-Relay*, o *X.25* e outros, a outros Roteadores num campus por meio de conexões FDDI, a redes SNA, a redes ATM, a redes SDH, a redes MANs, a redes WANs, e a outras²¹, permitindo que todas essas redes se comuniquem, mesmo utilizando protocolos diferentes.

Os protocolos mais usados para a comunicação dos Roteadores com outros Roteadores são: *PPP*, *Frame-Relay* e *X.25*.

Usa-se a conexão dos Roteadores com Hubs ou Switches para dar as redes locais à comunicação necessária.

As conexões internas das portas dos Roteadores com os Switches ou Hubs são feitas através de conectores RJ-45 ou através de Fibra Óptica.

²¹ OUTRAS – podendo ser qualquer tipo de rede utilizando diversos protocolos, tanto públicos como privados.

Já para a conexão com os canais externos são usadas portas com conectores RS-232, V.35, RS-449 ou G.703, isso depende diretamente do tipo de interface e da velocidade dos canais de comunicação à rede externa.

O Roteador identifica os endereços de destino de cada pacote e escolhe a melhor rota para a transmissão dos mesmos. Vale ressaltar que podemos criar caminhos alternativos em uma rede, fazendo uma triangulação de determinados pontos, tendo como resultado caminhos de contingência.

Sua principal diferença em relação a Bridges é que os Roteadores podem acessar o destino por caminhos alternativos, e as Bridges trabalham ponto-a-ponto, sem caminhos alternativos.

Quando o ambiente é heterogêneo o Roteador faz a conversão dos protocolos com total transparência para os usuários.

4.4.6 Gateways

Os Gateways são equipamentos que atuam nas camadas 4 a 7, convertendo os dados de uma aplicação de uma arquitetura para outra diferente, permitindo assim a comunicação entre elas.

Um exemplo prático é o uso do Gateway para as redes Windows conversarem com redes Netware.

Os Gateways podem ser implementados em estações de trabalho ou em servidores, usando para tal, software e hardware necessários para a ligação que queremos.

4.4.7 Switches

Os Switches são equipamentos utilizados para interconectar segmentos de redes. Funcionam como uma matriz de comutação, criando conexões entre todos os segmentos de redes locais conectados a ele.

Os Switches se diferenciam dos Hubs pelo fato de estes não compartilhar o meio, ou seja, os Switches criam caminhos virtuais entre duas ou mais estações de trabalho. Isso se dá pelo fato de os Switches atuarem na camada 2 do modelo OSI, usando o endereçamento MAC para formar tabelas dinâmicas das estações em cada segmento. Isso o torna mais eficiente na comutação dos pacotes de uma rede para outra.

Os Switches também segmentam o tráfego, quando formam uma ligação entre duas redes locais, deixando somente os dados endereçados a outra rede, funcionando analogamente as Bridges, porém trabalhando para muitas redes entre si.

Os Switches podem operar com dois tipos de pacotes de dados: pacotes do tipo Frame Ethernet e pacotes tipo células ATM.

4.5 Redes Metropolitanas (MANs)

Para definirmos uma rede metropolitana, podemos primeiramente definir uma rede corporativa que é um conjunto de plataformas de comunicação interligadas. Partindo deste princípio, podemos então definir a rede Metropolitana como sendo uma rede de computadores distantes e intercomunicadas. Uma rede metropolitana pode ser composta por redes locais, computadores de grande porte²², redes de telefonia, equipamentos multimídia, videoconferência e TV interativa, interligados com interoperabilidade e total conectividade, compartilhando meios de transmissão.

Essas redes podem estar em uma cidade, e pode utilizar os seguintes canais de comunicação: canais de dados alugados e que podem operar por satélite, fibras ópticas, redes de concessionárias públicas e outros.

O mais comum é encontrarmos canais de conexão de dados urbanos com velocidades que variam de 9600bps a 155Mbps. Essa velocidade depende da aplicação e do volume. A figura 12 ilustra uma MAN constituída na cidade de São Paulo.

²² GRANDE PORTE - Mainframe

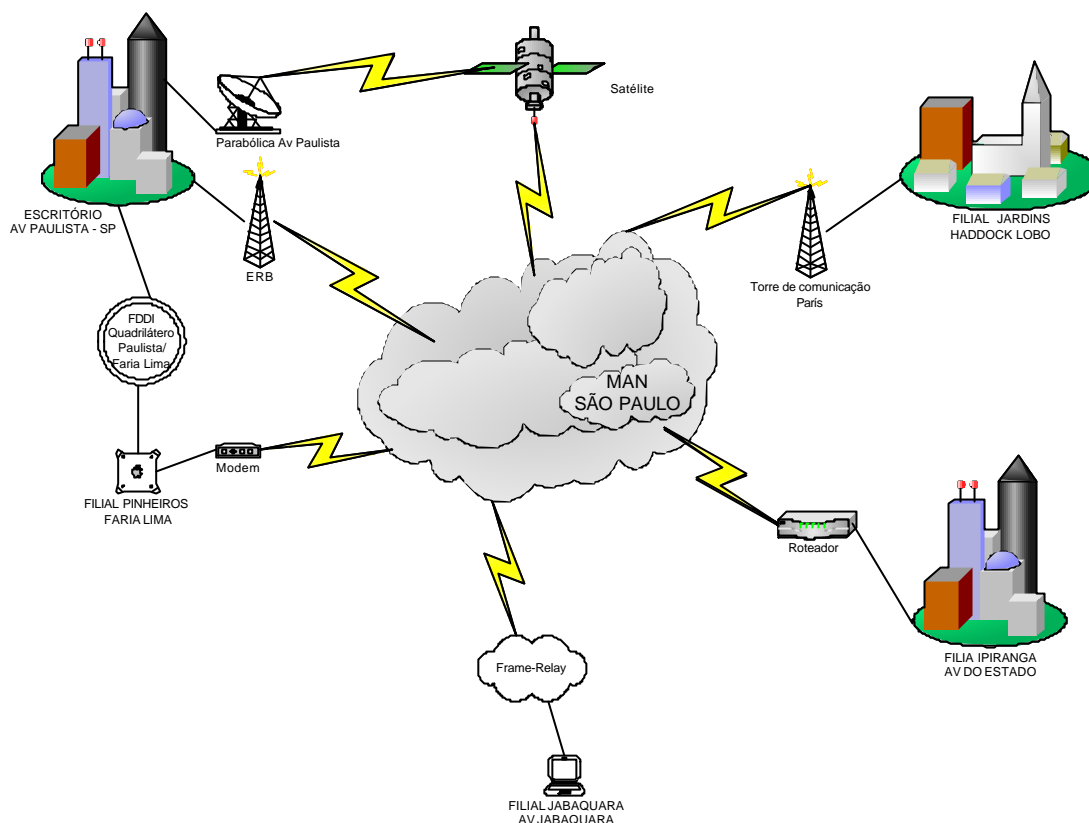


Figura 12 - Uma MAN.

4.6 Redes de Longa distância (WANs)

Podemos definir uma WAN, como sendo redes de computadores distantes e interconectadas. E essa rede pode ser composta por redes locais, redes MANs, computadores de grande porte, redes de serviços de telefonia integrados, equipamentos multimídia, videoconferência e TV interativa, interligados com interoperabilidade e conectividade compartilhando o meio, ou os meios de transmissão.

A única diferença de uma rede WAN para uma rede MAN é que as redes WANs operam em diferentes cidades ou países fisicamente distantes. Utilizam os mesmos canais de comunicação já citados para as redes MANs.

Os canais de comunicação de uma rede WAN operam em velocidades que podem variar de 9600bps a dezenas de Gigabits por segundo, dependendo do meio e da tecnologia utilizados²³. Abaixo Figura 13 demonstra uma WAN.

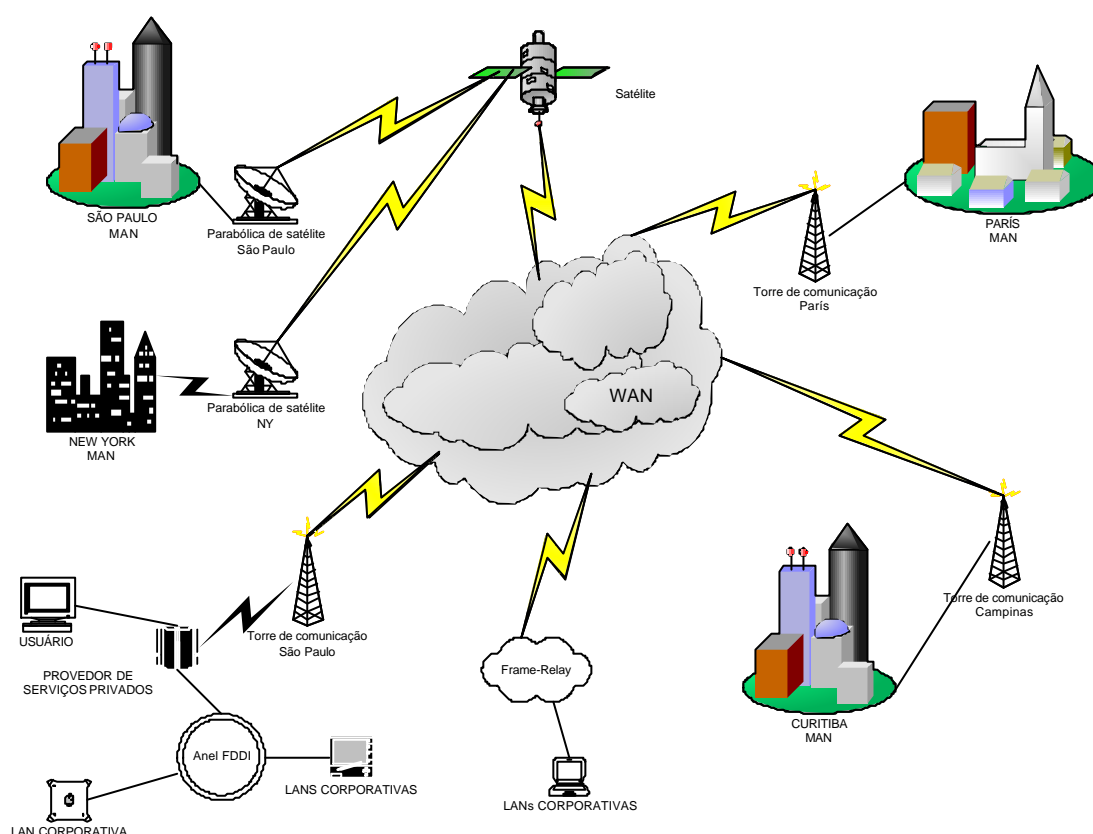


Figura 13 - Uma WAN

²³ VELOCIDADE DE TRANSMISSÃO – Depende dos serviços oferecidos pelas concessionárias de telecomunicações. É diretamente proporcional ao valor cobrado pelo serviço, ou seja, quanto maior a banda maior o valor cobrado.

5 MULTIPLEXAÇÃO

Atualmente existe a exigência de uso de dois ou mais caminhos de transmissão que são parcial ou completamente roteados em paralelo, também vivemos dias em que o custo dos serviços é algo agregado ao produto e conseqüentemente ao preço final para o usuário ou para a empresa. A multiplexação fornece a oportunidade para economizar no custo de transmissão. Ela fornece um mecanismo de compartilhamento do uso de um canal ou circuito comum por dois ou mais usuários.

A multiplexação é o uso de um canal para transmissão de um ou mais canais de dados e ou voz simultaneamente.

5.1 Compartilhamento de um canal

Como vimos, podemos utilizar a multiplexação para compartilhamento de um canal de dados, de voz, ou de imagem para transmissão de muitos canais de dados, voz, ou de imagens simultaneamente. Esse compartilhamento pode utilizar um canal de três maneiras: por frequência, por tempo ou por fatoração da cor²⁴. Vejamos a seguir suas características.

5.2 Multiplexação por divisão de frequência – FDM

²⁴ FATORAÇÃO DA COR – São utilizadas em sistemas ópticos como por exemplo o de multiplexação densa por divisão de onda.

A Multiplexação por divisão de frequência²⁵, também conhecida como modulação, essa técnica é baseada na faixa de frequência que um sinal necessita da banda passante do meio físico.

Essa técnica consiste em se fazer um “Shift” ou deslocamento das frequências, determinando então as faixas de frequências; conseguimos transmitir vários sinais ao mesmo tempo usando o mesmo meio.

Para melhor compreensão, a figura 14 elucida essa técnica.

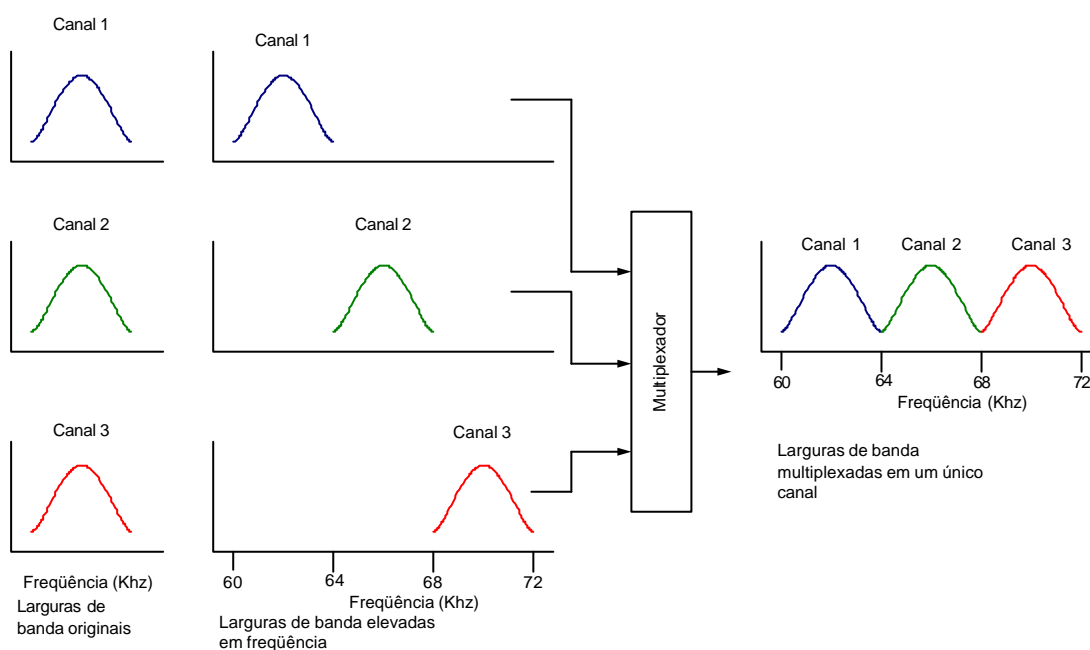


Figura 14 - Multiplexação por divisão de frequência

As chamadas individuais são alteradas em frequência e transmitidas como um grupo.

²⁵ Original – FDM ou *Frequency Division Multiplexing*.

Essa técnica foi muito utilizada pelos sistemas de comunicações analógicos, pois se obtinha um uso muito melhor da largura de banda da frequência utilizada.

5.3 Multiplexação por divisão de tempo – TDM

A multiplexação por divisão de tempo também é baseada na frequência, mas não utilizam formas analógicas da frequência e sim sinais digitais. As ondas senoidais²⁶ são digitalizadas, onde ao invés de fazermos o “shift”²⁷ da frequência para a transmissão, a dividimos em intervalos de tempo e então a enviamos em um único canal. O processo utilizado pelos sistemas de telecomunicações para a voz humana divide o canal e faz amostragem em intervalos regulares de 125μ. São formados 32 “Time Slots” para o envio dos canais. Um slot para cada canal, sendo que se usa somente 30 canais para a transmissão de voz, os outros 2 canais são utilizados para sinalização do sistema. Essa subdivisão se repete a cada intervalo dos 125μ por períodos subseqüentes, pegando o primeiro canal e colocando-o no primeiro “Time Slot”, e assim sucessivamente para todos os canais.

A Figura 15 mostra um canal analógico.

²⁶ ONDAS SENOIDAIS – É a representação de qualquer tipo de som através da frequência.

²⁷ SHIFT – Pode ser ter como salto ou espaçamento, uma tabulação.

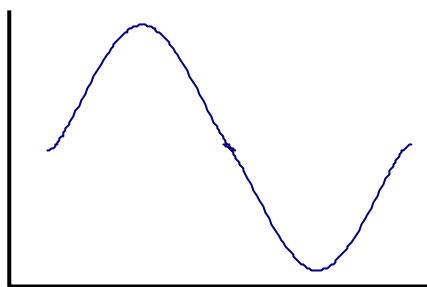


Figura 15 - Solenóide de um canal analógico

A Figura 16 mostra a amostragem para digitalização da frequência solenoidal, nesse caso, são feitas amostragem da ordem de 8000 por segundo.

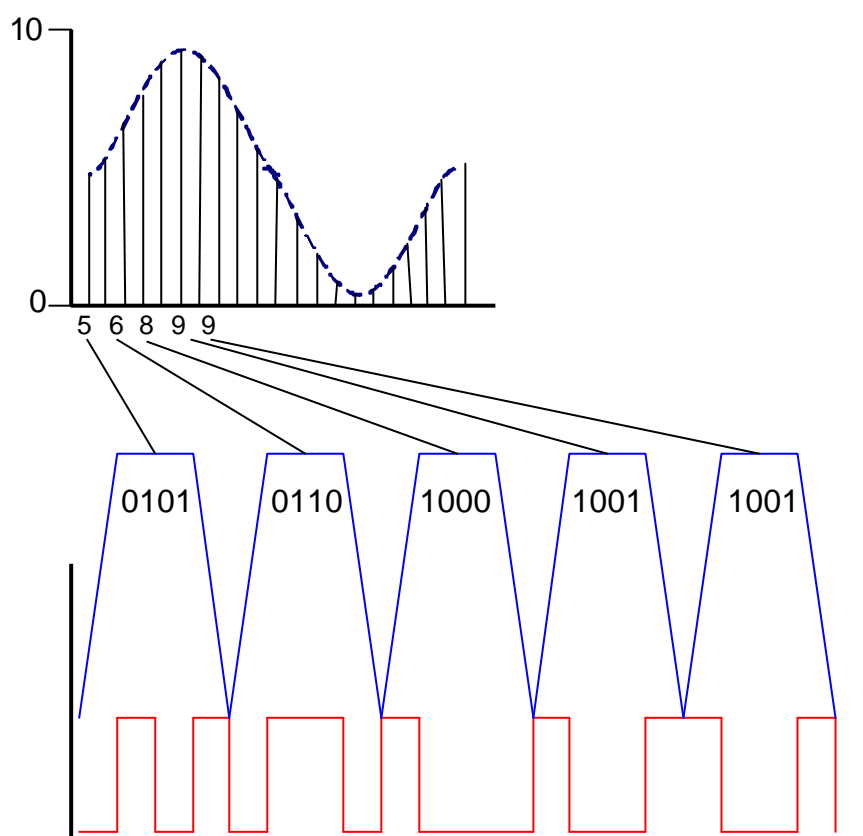


Figura 16 - Digitalização do canal analógico

Nesse exemplo, apenas pegamos os valores 5, 6, 8, 9 e 9 da amostragem, ou seja, apenas 5 valores do total de 8000 valores disponíveis.

Dessa forma são montados os quadros para envio no “*Time Slot*”. Na

Figura 17, temos o exemplo disso.

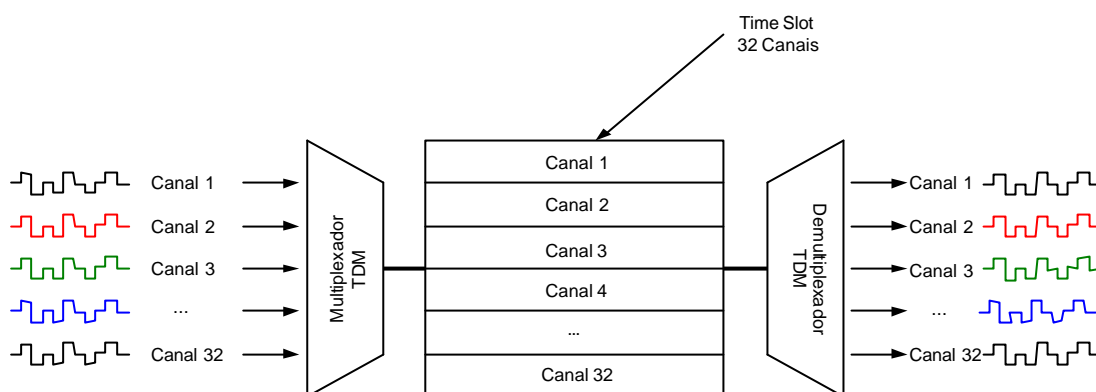


Figura 17 - Multiplexação por divisão do tempo - TDM

O canal é digitalizado, colocado em “*Time Slots*”, multiplexado os 32 canais, em seguida é enviado por um único canal, chegando no destino é demultiplexado, e cada canal recebe seus dados.

5.4 Multiplexação estatística por divisão de tempo - STDM

A multiplexação estatística por divisão do tempo, é semelhante ao TDM, porém com a implementação de redução do tamanho do quadro quando não há transmissão.

Utiliza técnicas de mapeamento de bits para formar os quadros, usando somente as portas ativas para montar o quadro.

Para compreendermos melhor o funcionamento dos STDMs, tomaremos como exemplo oito dispositivos de terminal.

Suponhamos que esses oito dispositivos de terminal estejam conectados a um multiplexador conforme ilustrado na Figura 18. Nesse nosso exemplo quando o multiplexador STDM fez a varredura, os terminais 1, 2, 4 e 7 estavam ativos e transmitiram os caracteres A, B, C e D, respectivamente. O multiplexador define o bitmap²⁸ para definir a atividade de cada porta, define o valor “1” para o bit em atividade e “0” para o bit sem atividade.

Dessa forma são construídos os quadros mostrados na Tabela 6. Essa tabela nos mostra como o STDM pode reduzir o tamanho dos quadros transmitidos.

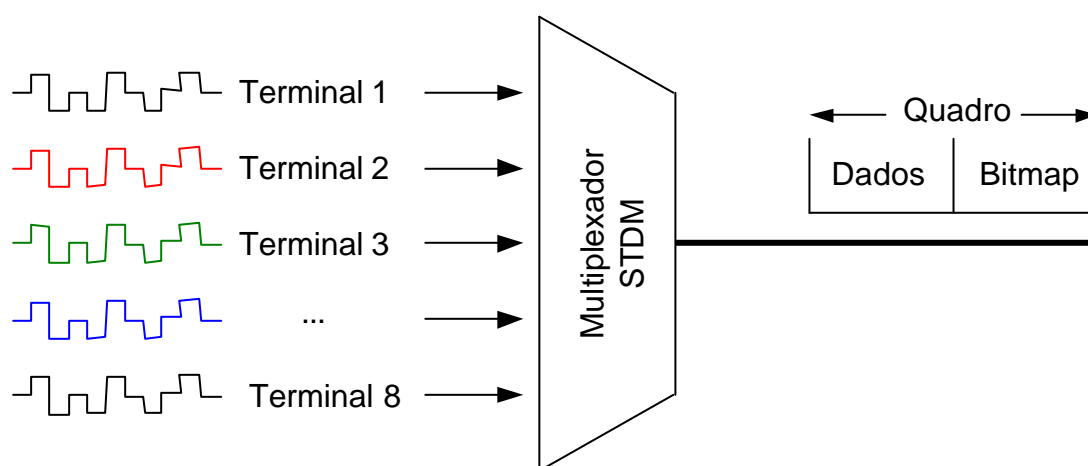


Figura 18 - Quadro de dados do sistema STDM

²⁸ BITMAP – ou mapa de bits

Terminal	Atividade do terminal	Quadro	
1	A	01001011	5.4.1.1 Dados de quadro de bitmap
2	B	A	
3	Sem atividade	B	
4	C	C	
5	Sem atividade	D	
6	Sem atividade		
7	D		
8	Sem atividade		

Tabela 6 - Construção de quadro - Operação do STDM

Como no bitmap temos o valor 01001011, indica exatamente a posição da porta ativa, ou seja, 0 = porta 8; 1 = porta 7; 0 = porta 6; 0 = porta 5; 1 = porta 4; 0 = porta 3; 1 = porta 2; 1 = porta 1. Temos então somente valores válidos, não sendo necessários marcar no quadro os valores nulos.

Dessa forma o STDM pode duplicar e até quadruplicar o número de origens de dados assíncronos servidas por um TDM convencional. Ele tira proveito dos períodos de inatividade.

5.5 Multiplexação do comprimento de onda WDM

Utilizando a Fibra Óptica monomodo teremos: baixa dispersão pelo meio de transmissão, concentração de energia em uma única frequência aliada aos diodos laser de injeção que tem um bom acoplamento de energia, torna possível às características extremas de distância e largura de banda.

Através do espectro estreito de emissão dos diodos laser de injeção, é possível enviar diversos sinais de fontes diferentes pela mesma Fibra Óptica. Para tanto usamos uma técnica conhecida como *Multiplexação do comprimento de onda*. Essa técnica é semelhante a FDM já estudada neste compêndio, que faz a multiplexação de vários sinais analógicos no domínio da frequência.

Como ocorre no FDM, a luz é “separada” em dois ou mais comprimentos de onda discretos e é acoplada à Fibra Óptica. Cada comprimento de onda transporta um canal em qualquer taxa de modulação: usado pelo equipamento de transmissão que dirige a fonte transmissora.

Temos então aumentada a capacidade de transmissão de cada Fibra Óptica da ordem de duas ou mais vezes.

6 DWDM

6.1 O sistema DWDM

O DWDM²⁹ é uma tecnologia que usa lasers múltiplos para transmitir muitos comprimentos de onda de luz simultaneamente em cima de uma única fibra óptica. Nessa técnica, usamos uma modulação diferente para cada tipo de dados (texto, voz, vídeo, etc.) o qual, viaja dentro de sua própria faixa de cor sem igual (comprimento de onda). O DWDM habilita a infraestrutura de fibra óptica existente das companhias telefônicas e outros provedores usados, aumentando dramaticamente a capacidade de transmissão das fibras óticas e diminuindo a implementação de eletrônica no sistema, aumentando consideravelmente os limites da Fibra Óptica.

Atualmente, já é possível colocarmos cerca de 150 comprimentos de onda numa mesma fibra, ou seja, teremos 150 canais de dados³⁰, cada qual transmitindo 40Gbps, chegamos então a algo próximo de 6 Tbps por segundo de transmissão de dados (em uma única Fibra Óptica). Em testes laboratoriais já foi transmitido 256 canais de 10Gbps, ou seja, aproximadamente 22 Tbps por segundo de largura de banda.

A Figura 19 mostra como o DWDM é implementado.

²⁹ DWDM é a sigla usada para se referir ao processo de Multiplexação ou Multiplexagem densa por divisão de comprimento de onda.

³⁰ DADOS entendam: Voz, dados e imagens.



Figura 19 - O Sinal DWDM

Para cada valor de Tx transmitido, teremos uma frequência de onda diferente *1* “*lâmbda*” diferente. Este “*lâmbda*” terá uma frequência em cor que vai desde a luz infravermelha até à ultravioleta. Temos então diferentes comprimentos de onda de luz, através do mesmo meio óptico, o que proporciona a transmissão de múltiplos canais. Em outras palavras o DWDM é uma tecnologia onde os sinais que transportam a informação, são combinados em um multiplexador óptico e transmitidos em um único par de fibras. Com isso usamos uma largura de banda mais adequada e temos o aumento da capacidade de transmissão.

Como vimos, os sinais a serem transmitidos podem possuir diferentes formatos e taxas de transmissão, podemos usar como exemplo o sistema *SDH* a velocidades de 622 Mbps, células *ATM* transmitindo a 155 Mbps e outros sistemas, trazendo total transparência ao sistema DWDM.

A grande vantagem dos sistemas DWDM é a capacidade de modular o aumento da capacidade de transmissão de acordo com a necessidade do mercado.

Características herdadas do WDM:

- **Atendimento de demanda inesperada:** Os sistemas DWDM podem economizar tempo e investimentos quanto à necessidade de aumento da demanda inesperada, pois é uma solução modular;
- **Reuso dos equipamentos terminais e da fibra:** Os sistemas DWDM podem ser implementados em quaisquer sistemas de fibra existentes aumentando a capacidade de transmissão destes, utilizando-se os mesmos equipamentos terminais para DWDM e a mesma fibra;
- **Permite crescimento gradual de capacidade:** Podemos implementar sistemas DWDM, iniciando-se apenas com dois canais (dois lâmbdas) e ir adicionando mais faixas de freqüência com a necessidade do mercado;
- **Transparência multiprotocolar de sinais transmitidos:** Podemos transmitir uma gama de protocolos de transporte de maneira totalmente transparente sem ficar fazendo a transição ou a conversão de protocolos. Como não existem sinais elétricos, uma gama muito grande de sinais e protocolos podem ser multiplexados e transmitidos para o outro lado do sistema DWDM sem que haja a necessidade de conversões ópto-elétrica. O DWDM pode transmitir tanto sinais WDM como sinais PDH, SDH, SONET e ATM de maneira transparente;
- **Flexibilidade de capacidade:** Como usamos a mesma infra-estrutura dos sistemas WDM, podemos adaptar qualquer protocolo aos sistemas DWDM e assim preservar os investimentos feitos.

Com o processo de transmissão de diferentes comprimentos de onda sobre uma fibra usado no DWDM foi um revolucionário desenvolvimento do WDM. O desenvolvimento de amplificadores ópticos que operam a 1550 nm, junto com a mais baixa perda daquela janela, proporcionaram o desenvolvimento do sistema DWDM.

6.2 DWDM, chave tecnológica para integração das redes de dados, voz e imagem de altíssima capacidade

Já foi demonstrado que o DWDM é a tecnologia que será usada para interligar MANs e WANs por sua capacidade altíssima de transmissão, aliada ao baixo custo de operação e manutenção. O DWDM é sem dúvida a tecnologia de futuro das redes.

Para isso, utiliza componentes chamados OM³¹ e OD³², cujas funções são respectivamente, combinar os diferentes comprimentos de onda em um único caminho e separar os diversos comprimentos de onda.

O DWDM tem a vantagem de não precisar de equipamentos finais para sua implementação. Usa lasers de DWDM, *transponders*, amplificadores, multiplexadores de add/drop³³ e outros filtros entre os diversos equipamentos de transmissão existentes e sobre as arquiteturas de

³¹ OM – Optical Multiplexer, Multiplexador Óptico.

³² OD – Optical Demultiplexer, Demultiplexador Óptico.

³³ ADD/DROP – Equipamentos usados para montar e desmontar os diversos níveis hierárquicos de um sistema SDH.

rede existentes. O DWDM é baseado no padrão de fibra G.652³⁴ que é utilizado na maioria dos backbones de fibra óptica.

O sistema DWDM é composto por transmissores que são os geradores de sinais, ele é responsável pela transformação dos sinais elétricos que chegam em pulsos luminosos. Do outro lado da fibra óptica, temos os receptores (fotodetectores) que transformarão os pulsos ópticos em sinais elétricos. O transponder transforma os sinais ópticos de volta como 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.

Dispomos de uma abundante malha de fibras instaladas tanto para longa distância (WANs) como para pequenas distâncias (MANs). Sabendo disso os atuais provedores de serviços de telecomunicações e os provedores de dados, Internet e outros que já utilizam a fibra óptica, estão desenvolvendo novos produtos e serviços que utilizam largura de banda tais como: TV Digital de alta definição, Internet Banda Larga, Rede Dedicada de Dados, Replicadores de hosts e servidores, VoIP, Telemedicina, Teleconferência, Telefonia IP.

As empresas que têm suas filiais onde esses provedores têm a fibra óptica instaladas podem contratar uma rede de dados dedicada onde usa um *Lambda* do canal onde pode utilizar a largura de dados que necessita e

³⁴ G.652 – Fibra tipo monomodo Padrão ITU-T G.652.

alocar mais largura de dados de acordo com suas necessidades, pois o canal DWDM é programável, portátil e escalável.

O gerenciamento da rede e do sistema é muito mais simples, pois dependendo da distância, teremos apenas regeneradores, diferente do antigo sistema TDM que necessitava de um repetidor a cada 40 km.

A Figura 20 ilustra bem isso.

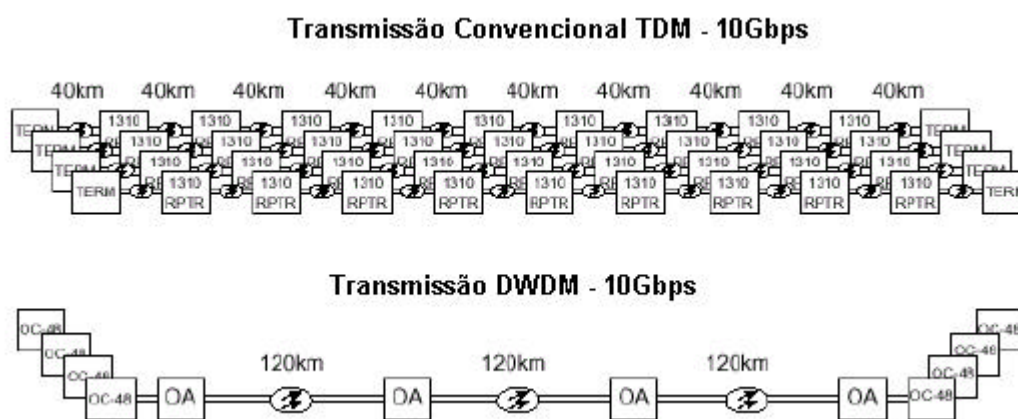


Figura 20 – Sistemas TDM x Sistemas DWDM

Como representado na Figura 20, em uma distância de 360 km utilizando o sistema TDM, para transmitir 40 Gbps, precisaríamos de 36 repetidores e 4 pares de fibras, já para o sistema DWDM, passamos a utilizar somente 3 repetidores e somente 1 par de fibra. Para todas as necessidades de aumento da demanda precisarei investir em infra-estrutura a fim de passar fisicamente a fibra óptica, Para o sistema DWDM, esse investimento não existe, pois a infra-estrutura base já foi montada e só

habilito a *lâmbda* correspondente para uso sem perder tempo com infraestrutura e outros trâmites.

7 APLICAÇÕES

7.1 Aplicando DWDM em Redes Metropolitanas (WANS)

Vimos durante as últimas décadas um esforço mundial das empresas de telecomunicações que, com a alta demanda para a implantação de redes de telecomunicações de longo alcance, colocou a fibra ótica em todos os continentes, cruzando todos os países e passando por dentro de todos os oceanos. Essas “Redes de Backbones”, por assim dizer, podem transmitir grande quantidades de dados, oferecendo uma gama muito variada de plataformas de transmissão padronizadas e de altíssima confiabilidade para troca de dados em grande escala.

Atualmente a demanda por serviços com maior largura de banda vem trazendo ao limite a capacidade das atuais redes metropolitanas, nas quais uma largura de banda adequada a um custo justo não está sendo amplamente disponível. Tudo isso tem provocado gargalos na largura de banda e conseqüentemente o estrangulamento do fluxo de informação, onde ela é necessária para habilitar novas aplicações e serviços a usuários.

Como conseqüências ao usuário, a largura de banda necessitada tem grande custo e é objeto de problemas para as operadoras, visto porque como temos uma demanda muito grande para as aplicações que agregam valor, estas mesmas aplicações necessitam de uma grande variedade de protocolos, tais como: SDH/SONET, ATM, IP/MPLS, Ethernet.

7.1.1 Topologias de redes

a. Ponto-a-ponto

A topologia mais simples de se implementar é a topologia ponto-a-ponto, onde que a utilização de filtros add/drop é opcional, podemos transmitir a uma distância de centenas de quilômetros. Essa topologia se caracteriza pela alta velocidade de transmissão, entre 10 e 40 Gbps, e pela qualidade do sinal transmitido.



Figura 21 - Topologia ponto-a-ponto

b. Anel

Essa topologia é a mais encontrada em redes metropolitanas, pois além de ser uma rede rápida e segura, dispõe de backup da rede. A taxa de transmissão utilizada fica entre 622 Mbps e 10 Gbps.

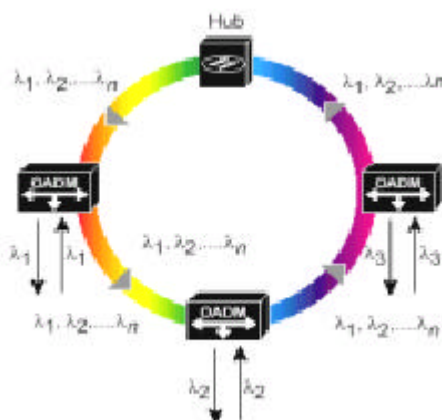


Figura 22 - Topologia Anel

Todo o processo é iniciado, terminado e gerenciado no *Hub*, além de se fazer por ele a interconexão com outras redes. Nos *OADM*³⁵, são feitas as retiradas e inserções de um ou mais comprimentos de onda, o restante dos comprimentos de onda são enviados sem alterações, tornando o *OADM* transparente. Sua desvantagem está no fato de que podemos perder a qualidade do sinal e com isso temos que inserir um amplificador para atenuar o sinal.

c. Mista

A tecnologia mista, tende a ser a mais utilizada pelo fato da mobilidade trazida pelos *OADM*s à rede em conjunto com o uso de equipamentos como switches. Assim topologias diferentes poderão ser conectadas facilmente. A Figura 23 ilustra a topologia mista.

³⁵ *OADM* –Optical Add/Drop Multiplexer, Multiplexador óptico de adição e remoção de comprimento de onda.

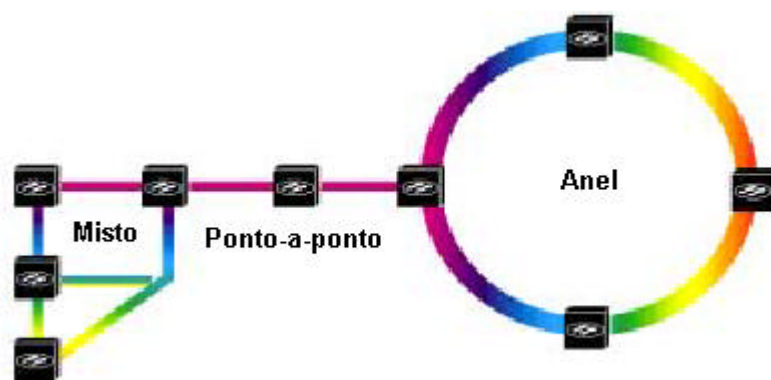
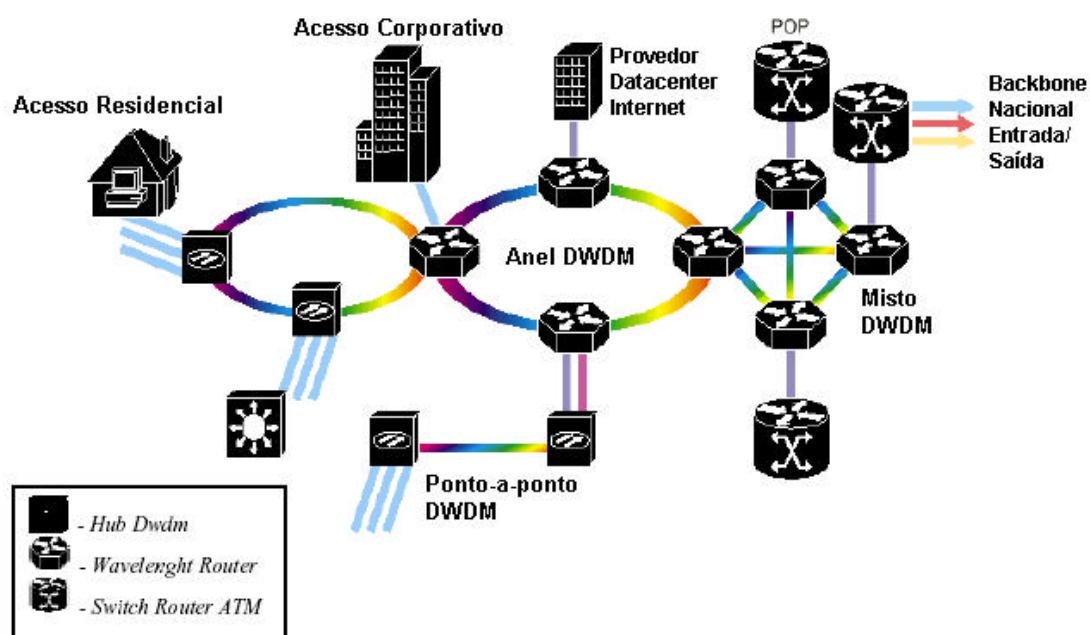


Figura 23 - Topologia Mista

A base dessa topologia está puramente no gerenciamento da rede, pois o aproveitamento da banda disponível requer muita inteligência. A fim de satisfazer essa necessidade, está sendo desenvolvido um protocolo baseado no *MPLS*³⁶ para dar suporte a rota das redes puramente ópticas.

Para a sinalização e gerenciamento, um comprimento de onda deve ser reservado. A Figura 24 mostra como será uma rede puramente óptica.



³⁶ MPLS – MultiProtocol Label Switching.

Figura 24 - Exemplo de aplicação e topologias DWDM

7.2 Aplicando DWDM em Redes Locais (LANS)

O DWDM é a solução para a transmissão de grandes quantidades de dados. Com o desenvolvimento das tecnologias ópticas, mais a tecnologia DWDM tende a ganhar espaço não só para o transporte de dados metropolitanos, ou de grandes distâncias, mas dentro das corporações e redes locais. O DWDM está se tornando a base de todos os sistemas de tecnologia óptica para redes. A Figura 24 mostrou um exemplo de tal tecnologia, onde usamos topologias mistas para dar suporte às aplicações de usuários comuns em seus acessos residenciais, suporte às redes corporativas, suporte para interconexão de redes locais, MANs e WANs.

Algumas soluções usando o DWDM e tendo total qualidade de serviços:

- **Acesso residencial:** Uso de Telefonia IP, VoIP, TV Digital, vídeo sobre demanda, Internet banda larga e outros;
- **Acesso corporativo:** incluindo corretagem de largura de banda, Storage Area Networks (SAN), sub-locação, videoconferência, web hosting, Redes Privadas Virtuais (VPN) ópticas e Voz sobre protocolo Internet (VoIP);

Todas essas soluções e outras podem fazer parte das soluções de DWDM para a total interconexão das redes ópticas, tornando-se padrão para

tal tecnologia. Novas aplicações serão oferecidas com a oferta de largura de banda e a redução dos custos como o gerenciamento e administração das redes ópticas, chegando a ponta principal o cliente final.

Uma empresa de TV a cabo, por exemplo, poderá oferecer interatividade e diversidade de produtos com um alto valor agregado para o usuário. Poderá entregar no lugar do cabo coaxial, um cabo categoria 5 com conectores RJ-45. Um equipamento interno deverá fazer a interface com os diversos equipamentos eletro-eletrônicos existentes, alimentando inclusive o telefone que poderá ter vídeo agregado. Teremos então, Internet banda larga, TV digital de alta resolução, soluções de segurança como monitoramento em tempo real, e outros.

Todo isso a um baixo custo, pois teremos muita oferta de largura de banda.

8 CONCLUSÃO

As tecnologias ópticas vêm se desenvolvendo a cada dia e já temos um grande número de *backbones* ópticos espalhados pelo mundo. É nesse cenário que o DWDM vem se consolidando cada vez mais como provedor de soluções para o transporte de dados. Cenário este de revolução onde temos redes de dados espalhados pelo mundo a fora, vemos uma mudança de paradigmas onde teremos voz trafegando sobre redes de dados ao invés de dados trafegando em canais de voz.

Isso é o que o DWDM está proporcionando, uma melhor adequação dos meios e plataformas, pois ele é portátil e multiplataforma, sendo usado para transportar diversos tipos de sinais e protocolos, fazendo a otimização do uso da fibra, proporcionando a largura de banda adequada para o tráfego de grandes quantidades de dados.

Uma aplicação prática que em curto espaço de tempo irá utilizar o DWDM é a das empresas de “TV a cabo”. O DWDM irá fazer com que a infra-estrutura instalada para as empresas de “TV a cabo”, a parte de fibras, forneça novos serviços agregando valor ao produto principal “TV a cabo”.

O DWDM permitirá que as operadoras de “TV a Cabo” apenas substitua os equipamentos transmissores e receptores (dentro de sua rede), a fim de ajustar o sistema para o padrão DWDM. Após essa mudança, teremos também que substituir o cabo que chega na porta do cliente,

podendo ser colocado um cabo Categoria 5 com conectores tipo RJ-45 com taxa de transmissão de 100 Mbps. Essa taxa de transmissão poderá oferecer ao cliente: Internet Banda Larga, Telefonia IP, Vídeo Conferencia, TV Digital (HDTV), Vídeo sob Demanda, VoIP, Canal de Voz Digital (interligado aos sistemas de telefonia convencionais), e outras aplicações que podem ser desenvolvidas. A Figura 25, ilustra o que teremos no futuro.

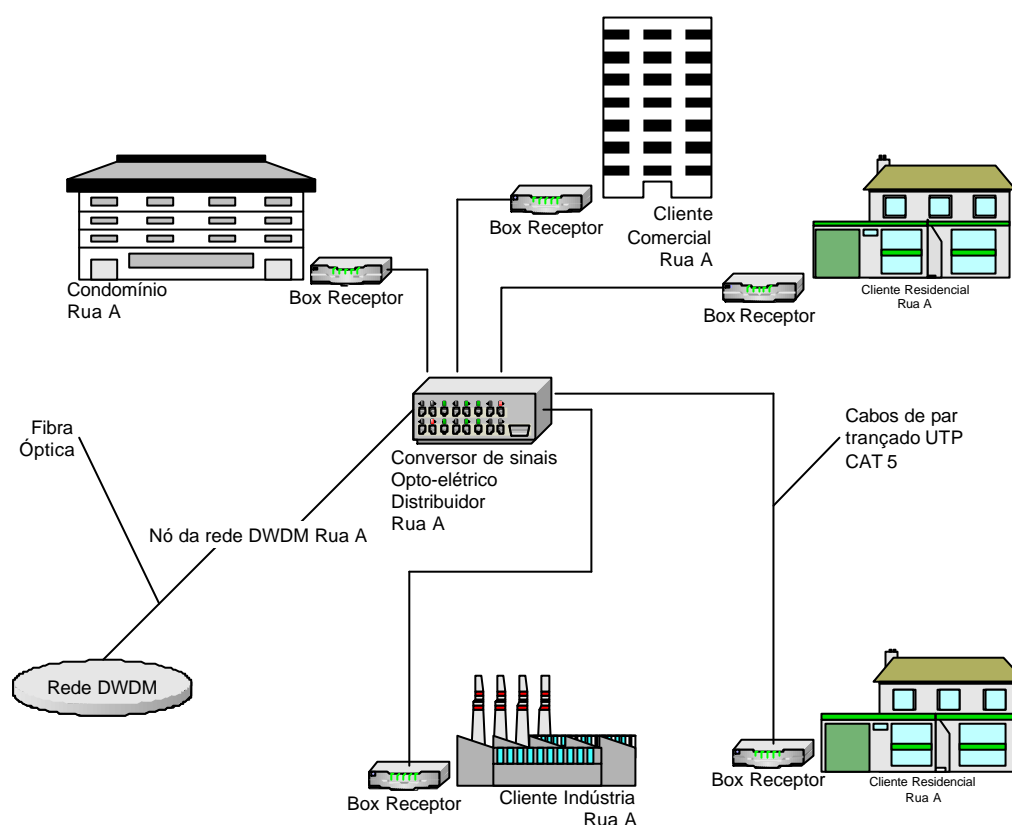


Figura 25 - Futuro das conexões ópticas "Caso TV a Cabo"

O uso de planta legada, seus equipamentos de gerenciamento, faz com que o DWDM, tenha fácil implementação a um baixo custo. A disponibilidade de largura de banda e novas aplicações fará do DWDM a tecnologia padrão para todas as redes ópticas de hoje e do futuro.

9 GLOSSÁRIO

ATM: Abreviação de *Asynchronous Transfer Mode*, É a tecnologia baseada na transmissão de pequenas unidades de informação denominada células (pacotes de comprimento fixo), que são transmitidas em circuitos virtuais, onde a rota é estabelecida no momento da conexão.

BACKBONE: Traduzido por “Espinha Dorsal”, é o centro da rede também chamado de “CORE” da rede.

CRC: Abreviação de *Check Redundance Cycle*, é um algoritmo que faz a checagem de determinados pacotes a fim de verificar falhas.

CROMAS: Relativo a cores ou a cor.

CSMA/CD: Abreviação de *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*, protocolo para detecção de erro e compartilhamento do meio de transmissão.

DIELÉTRICO: É o meio não condutor de corrente elétrica.

DWDM: Abreviação de *Dense Wavelength Division Multiplexing*, Multiplexação Densa por Divisão de Onda.

FDDI: Abreviação de *Fiber Distributed Data Interface*, Interface de Dados Distribuída por Fibra.

FRAME-RELAY: É um protocolo padronizado para interconexão de redes, usa chaveamento de pacotes.

GIGABIT ETHERNET: É um padrão de rede óptica que funciona a velocidade superior ao 1Gb.

ISO: Abreviação de *International Standard Organizacional*, Organização Internacional de Padronização.

LANS: Abreviação de *Local Area Network*, Rede Local. Um grupo de computadores e outros dispositivos distribuídos em uma área relativamente pequena e conectados por meio de um vínculo de comunicação que possibilita qualquer dispositivo interagir com outro na rede.

LED: Abreviação de *Light Emitting Diode*, Diodo Emissor de Luz.

MAC: Abreviação de *Medium Access Control*, Controle de Acesso Médio.

MANS: Abreviação de *Metropolitan Area Network*, Rede Metropolitana. Um grupo de computadores e outros dispositivos distribuídos em uma área metropolitana e conectados por meio de um vínculo de comunicação que possibilita qualquer dispositivo interagir com outro na rede.

MPS: Módulos Processadores são equipamentos eletrônicos que se comunicam e tem pelo menos um chip processador.

OSI: Abreviação de *Open System Intercommunication*, Sistema Aberto de Intercomunicação.

PDA: Abreviação de *Personal Digital Assistant*, Assistente Pessoal Digital é um dispositivo de fácil mobilidade e geralmente é do tamanho de uma agenda eletrônica ou menor. A grande vantagem deste dispositivo, além da portabilidade, é ser um misto de computador – com direito à rede, fax e agenda.

REFRAÇÃO: A modificação da direção de propagação de uma onda que incide sobre uma interface entre dois meios e prossegue através do segundo meio.

SDH: Abreviação de *Synchronous Digital Hierarchy*, Hierarquia Síncrona Digital. Sistema de transporte que segue uma hierarquia síncrona digital.

TIME SLOT: Um *time slot* é um quadro usado pela multiplexação por divisão de tempo para sistemas digitais, onde transmitem 32 canais de voz ou dados simultaneamente.

TRANSIENTES: Transitório, passageiro.

TRANSPONDERS: É um identificador de frequências.

WANS: Abreviação de *Wide Área Network*, Rede de longa distância. A extensão de uma rede de dados que usa vínculos de telecomunicações para se conectar a áreas separadas geograficamente.

WIRELESS: É o meio de transmissão por radiofrequência que não utiliza fios ou outros meio.

X.25: É um protocolo normalizado pelo ITU, usado para a comunicação de dados, que usa técnicas de comutação de pacotes.

10 BIBLIOGRAFIA

10.1 Livros

GIOZZA, Willian Ferreira. CONFORTI, Evandro. WALDMAN, Hélio.

Fibrasólicas: tecnologia e Projeto de Sistemas. São Paulo: Editora MakronBooks, McGraw-Hill, 1991.

HELD, Gilbert. *Comunicação de dados*. 6º Edição, Rio de Janeiro, Editora Campus, 1999.

IEZZI, Gelson. *Fundamentos de Matemática Elementar.*, 4º Edição, São Paulo: Editora Atual, 1993, v 7.

NETO, Vicente Soares. SILVA, Anderson de Paula. *Telecomunicações – Redes de Alta Velocidade – Cabeamento estruturado*. São Paulo: Editora Érica, 1999.

NETO, Vicente Soares. *Telecomunicações – Convergência de Redes e Serviços* – 1º Edição, São Paulo: Editora Érica, 2003, 256p.

NETO, Vicente Soares. *Telecomunicações – Redes de Alta Velocidade – Sistemas PDH e SDH*. 2º Edição, São Paulo: Editora Érica, 2000, 224p.

ORTIS, Eduardo Bellincanta. *Windows 2000 Server: Instalação, configuração e implementação*. 2º Edição, São Paulo: Editora Érica, 2001.

PINHEIRO, José Maurício Santos. *Guia Completo de Cabeamento de Redes*. 1º Edição, Rio de Janeiro, Editora Campus, 2003.

RIBEIRO, José Antônio Justino. *Comunicações Ópticas*. 1º Edição, São Paulo: Editora Érica, 2003.

SOARES, Luiz Fernando Gomes. LEMOS, Guido. COLCHER, Sérgio. *Redes de Computadores: das LANs, MANs e WANs às redes ATM*. 2.º Edição, Rio de Janeiro: Editora Campus, 1995.

SOUSA, Lindeberg Barros de. *Redes de Computadores: Dados, Voz e Imagem*. 3º Edição, São Paulo: Editora Érica, 1999.

TABINI, Ricardo. JUNIOR, Denizard Nunes da Silva. *Fibras óticas*. 4º Edição, São Paulo: Editora Érica, 1994.

TAROUCO, Liane Margarida Rockenbach. *Redes de Comunicação de dados*. 3.º Edição, Rio de Janeiro: Editora LTC – Livros técnicos e Científicos Editora S.A., 1985.

WIRTH, Almir. *Tecnologias de Rede e Comunicação de Dados*. 1º Edição, Rio de Janeiro, Editora Alta Books, 2002.

WIRTH, Almir. *Tudo sobre Fibras Óticas – Teoria e Prática*. 1º Edição, Rio de Janeiro, Editora Alta Books, 2001.

10.2 Publicações

BLACK BOX – Black Box Network Services. São Paulo, 2001/2002

CAPUTO, Maria Regina C. Gouvêa, Maria Elizabeth. *“Fatores que influenciam a Capacidade e o Desempenho dos Sistemas com Amplificadores Ópticos (Os Atuais Sistemas Ópticos de Alta Capacidade)”*, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

FRAGNITO, Hugo L. *“Performance of a two-pump fiber optical parametric amplifier in a 10 Gb/s x 64 channel dense wavelength division*

multiplexing system”, Elsevier (www.elsevier.com/locate/optcom) e Universidade de Campinas, SP, 2003.

KITANO, Cláudio. OLIVEIRA, Jose Edimar Barbosa. *“Dispositivos à Óptica Integrada para Aplicações em Telecomunicações”*. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Instituto de Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2000.

KITANO, Cláudio. OLIVEIRA, Jose Edimar Barbosa. *“Projeto de moduladores Eletroópticos Faixa Larga Utilizando Tecnologia de Óptica Integrada”*. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Instituto de Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2002.

RIBEIRO, Jose Antonio Justino. *“Característica da propagação em Fibra Óptica”*, Instituto Nacional de Telecomunicações, Belo Horizonte, 2004.

YAMASAKI, Dean J. *“Lighting the Way to the Home - Transmission System Basics: Optical Fiber and Optical Cable”*, IEC (www.iec.org), 2004.

NELSON, Simões. STANTON, Michael A. *“A Iniciativa Óptica Nacional e o Projeto Giga”*. RNP – Boletim Nacional Sobre Tecnologia de Redes. Volume 6, número 6, Rio de Janeiro, 2002.

SILVA, Marcelo Rodrigues da. *“Tecnologia de transporte em comunicações ópticas DWDM”*, CTBCTelecom, (www.ctbctelecom.com.br), 2000.

USP *“Norma Técnica – Redes Locais”*, USP, (www.usp.br), São Paulo, 1998.

10.3 Sites

AMPÉRES AUTOMATION. Disponível em: <

<http://www.amperesautomation.hpg.ig.com.br/centel.html>> São Paulo,

acesso em: 11/05/2004.

BIO ELETRONICS. Disponível em:

<http://www.bioelectronics.com.br/man2.htm> São Paulo, acesso em:

21/05/2004.

CLÍNICA DE MATEMÁTICA. Disponível em:

<<http://www.clinicadematematica.com.br/Fermat.htm>>. São Paulo,

acesso em: 19/04/2004.

COSTA, Antonio Carlos da. CARDOSO, Telma V. Disponível em:

<<http://www.ifi.unicamp.br/%7Eaccosta/nota1.html>> São Paulo, acesso

em 19/04/2004.

DICIONÁRIO ONLINE DA LINGUA PORTUGUESA. Disponível em:

<<http://www.portoeditora.pt/dol/default.asp>> São Paulo, acesso em:

21/05/2004.

FDDI. Disponível em: <[http://proenca.uel.br/curso-redes-](http://proenca.uel.br/curso-redes-graduacao/1998/trab-06/equipe-02/fddiarq.html)

[graduacao/1998/trab-06/equipe-02/fddiarq.html](http://proenca.uel.br/curso-redes-graduacao/1998/trab-06/equipe-02/fddiarq.html)> São Paulo, acesso em:

05/05/2004.

FIBER DISTRIBUTED DATA INTERFACE. Disponível em:

<<http://www.dei.isep.ipp.pt/~andre/documentos/fddi.html>> São Paulo,

acesso em: 05/05/2004.

FIBERWORKS. Disponível em: <http://www.fiberwork.com.br>> São Paulo,

acesso em: 19/05/04.

FIBRA ÓPTICA. Disponível em: <

<http://www.nitnet.com.br/~rnmacedo/otica.htm>> São Paulo, acesso em: 12/05/2004.

FRAME RELAY. Disponível em:

<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialfr/pagina_1.asp> São Paulo, acesso em: 21/05/2004.

FUNDAMENTOS DE MATEMÁTICA ELEMENTAR. Disponível em:

<<http://planeta.terra.com.br/educacao/calculo/Historia/fermat.htm>>. São Paulo, acesso em: 19/04/2004.

ITU. Disponível em:

<<http://www.itu.int/rec/recommendation.asp?type=products&parent=T-REC-x>> São Paulo, acesso em: 21/05/2004.

OPTICAL DWDM NETWORKS. Disponível em: < http://www.cse.ohio-state.edu/%7Ejain/talks/h_5opt.htm> São Paulo, acesso em: 19/05/04.

OPTICAL NETWORKING AND DENSE WAVELENGTH DIVISION

MULTIPLEXING (DWDM). Disponível em: <<http://www.cse.ohio-state.edu/%7Ejain/cis788-99/dwdm/>> São Paulo, acesso em: 19/05/04.

ORGANIZAÇÃO BÁSICA DE COMPUTADORES E LINGUAGEM DE

MONTAGEM. Disponível em:

<<http://terrax.ahand.unicamp.br/intranets/00b.404/protected/sem/g06/ca p2.html>> São Paulo, acesso em: 28/04/2004.

ÓTICA PARA ALUNOS DO ENSINO MÉDIO. Disponível em: <

<http://educar.sc.usp.br/otica/refracao.htm#snell>> São Paulo, acesso em 20/04/2004.

PROTOCOLS.COM. Disponível em: <<http://www.protocols.com/>> São Paulo, acesso em: 21/05/2004.

REDES DE ALTA VELOCIDADE. Disponível em: <<http://elianeferraz.vilabol.uol.com.br/>> São Paulo, acesso em: 19/05/04.

REDES DE ALTA VELOCIDADE. Disponível em: <<http://proenca.uel.br/curso-redes-especializacao/2001-uel/trab-03/equipe-08/RedesCorpo.htm>> São Paulo, acesso em: 19/05/04.

REDES DE DADOS. Disponível em: <http://www.ccuec.unicamp.br/gcnet/palestras/Redes_de_Dados-Parte1.ppt> São Paulo, acesso em 28/04/2004.

REDES FRAME RELAY. Disponível em: <http://www.insite.com.br/suporte/intro_redes.phtml> São Paulo, acesso em: 21/05/2004.

REDES X.25 E "FRAME RELAY". Disponível em: <<http://www.dei.isep.ipp.pt/~andre/documentos/x25.html>> São Paulo, acesso em: 21/05/2004.

REMAV - Redes Metropolitanas de Alta Velocidade. Disponível em: <http://www.rnp.br/remav/projeto.html> . São Paulo, acesso em 17/05/2004.

SISTEMA DE TRANSPORTE DWDM. Disponível em: <<http://www.poncedaher.com.br/papers/dwdm/>> São Paulo, acesso em: 19/05/04.

STANTON, M. A. A evolução das redes acadêmicas no Brasil: Parte 1 - da BITNET à Internet (1987 a 1993)". In: RNP News Generation, vol.2, n.6,

10 jul. 1998. Disponível em: <<http://www.rnp.br/newsgen/9806/inter-br.shtml>>. Acesso em 17/05/2004.

TELECO. Disponível em:

<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialfoll/pagina_2.asp> São Paulo, acesso em 20/04/2004.

TELEFONICA EMPRESAS. Disponível em:

<http://www.telefonicaempresas.com.br/www/sessoes/biblioteca/glossario_resultado.asp?letra=X> São Paulo, acesso em: 21/05/2004.

TOPOLOGIA DE REDES. Disponível em:

<<http://www.numaboa.com.br/informatica/internet/topologia.php>> São Paulo, acesso em: 05/05/2004.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS . Disponível em: <

<http://www.ufgnet.ufg.br/tutoriais/fibrasoticas.html>> São Paulo, acesso em 20/04/2004.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS. Disponível em: <

<http://www.ufscar.br/~suporte/manut30a.htm>> São Paulo, acesso em: 05/05/2004.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. Disponível em:

<<http://www.fisica.ufc.br/refracao/refracao1.htm>>. São Paulo, acesso em: 19/04/2004.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Disponível em:

<<http://www.if.ufrgs.br/~marcia/lab1.html>>. São Paulo, acesso em: 19/04/2004.

VELOCIDADE DA REDE. Disponível em:

<<http://www.informationweek.com.br/techreport/artigo.asp?id=13861>>

São Paulo, acesso em: 21/05/2004.

OUTROS TRABALHOS EM:
www.projetoderedes.com.br