



UNISUL

UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

LEONARDO BORGES DE MELO

ANDRÉ LUIS NUNES

PROJETO DE REDE VIA FIBRA ÓPTICA – FTTH

Palhoça

2011

LEONARDO BORGES DE MELO
ANDRÉ LUIS NUNES

PROJETO DE REDE VIA FIBRA ÓPTICA – FTTH

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia de Elétrica Telemática da Universidade do Sul de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Orientadora: Sheila Santisi Travessa

Palhoça
2011

**LEONARDO BORGES DE MELO
ANDRÉ LUIS NUNES**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do grau de Engenheiro Eletricista e aprovado em sua forma final pelo curso de Graduação em Engenharia Elétrica – Habilitação em Telemática da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça, 07 de dezembro de 2011.

Prof^a. e orientadora Sheila Santisi Travessa, M. Eng.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Prof^o. Julíbio David Ardigo, Dr. Eng.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Paulo César Davet Júnior, Eng.
Engenheiro de Telecomunicações

Dedico este trabalho ao meu Deus que sempre me fortaleceu nos momentos difíceis e me ensinou a nunca desistir dos meus sonhos. Aos meus pais Francisco João de Melo Filho e Prudencia Borges que não pouparam esforços para me educar e nunca deixaram de me apoiar. A minha irmã Danielle Borges de Melo pelo exemplo que foi para mim. A minha esposa Andreica Mariane Dorosz pelo incentivo e compreensão pelos momentos de minha ausência em virtude da dedicação necessária para conclusão deste trabalho. A minha querida filhinha Lauren Dorosz de Melo que está prestes a nascer.

(LEONARDO BORGES DE MELO)

Dedico este trabalho a Deus por estar sempre nos guiando e dando força para seguirmos em frente porque sem ele nada seria possível. Aos meus pais Andréa L. Nunes e Gerson L. A. Nunes pelo apoio e dedicação em cada etapa vencida durante o curso. A minha namorada pela sua compreensão. Aos meus colegas de serviço pela amizade e o convívio no campo profissional. A orientadora Sheila Santisi pelo auxílio na realização de todo o trabalho. Ao meu querido irmão e todos os meus familiares que sempre deram incentivos a continuar vencendo meus objetivos no decorrer dessa trajetória.

(ANDRÉ LUIS NUNES)

AGRADECIMENTOS

Eu, Leonardo Borges de Melo, agradeço primeiramente a Deus pelo fôlego de vida, pelas bênçãos recebidas e por me mostrar o verdadeiro caminho a ser trilhado. Agradeço aos meus pais Francisco João de Melo Filho e Prudencia Borges por me ensinarem a viver com integridade e por iluminarem minha vida com amor e carinho. A minha amada esposa Andreica Mariane Dorosz pelo amor e dedicação. A minha irmã Danielle Borges de Melo que sempre foi um exemplo a ser seguido. Aos professores da Unisul, em especial a Sheila Santisi Travessa, que foi minha orientadora nesse trabalho. Aos amigos feitos na Unisul, com os quais passei uma grande parte de minha vida. Aos colegas de serviço da Globalwave Telecom, em especial ao engenheiro Paulo César Davet Júnior, que me auxiliou no que foi preciso para o desenvolvimento deste trabalho. A todos os meus amigos que sempre me incentivaram a ir em frente para alcançar meus objetivos. Agradeço também a todos que de alguma forma passaram pela minha vida e contribuíram para esta conquista.

Eu, André Luis Nunes, agradeço a Deus que me deu o dom da existência e por me iluminar e dar forças para vencer mais uma etapa em minha vida. Agradeço também aos meus pais Andréa Lucia Nunes e Gerson Luis Antunes Nunes que de forma especial e carinhosa sempre estiveram presente e dando o apoio necessário nos momentos em que mais necessitei. Quero Agradecer também meu irmão Luis Felipe Nunes por estar sempre ao meu lado com seu companheirismo. Aos meus amigos de serviço pelo convívio e cumplicidade no ambiente de trabalho. Aos meus colegas de faculdade que de certa forma sempre estiveram presente nesse momento de conquista. Aos professores da Unisul em especial a orientadora de nosso trabalho Sheila Santisi Travessa. Quero agradecer de certa forma a todas as pessoas que pelo mínimo que seja influenciaram para esta vitória.

"Não existe triunfo sem perda, não há vitória sem sofrimento e nem liberdade sem sacrifício." (SENHOR DOS ANÉIS – O RETORNO DO REI)

RESUMO

Com o aumento exponencial da taxa de banda para transmissão e recepção de dados no mercado de telecomunicações nos últimos anos, as redes de acesso via fibra óptica já são realidade nos dias atuais. Por isso, o trabalho tem o objetivo de mostrar e exemplificar uma rede de acesso via fibra óptica. Para alcançar esses objetivos, segue toda a fundamentação teórica, onde é conceituado o sistema de comunicação óptica, além de uma ilustração prática com a apresentação de um estudo de caso, mostrando condições práticas na implantação de uma rede de acesso via fibra óptica.

Palavras-chave: Redes de Acesso. Fibra Óptica. Comunicação Óptica.

ABSTRACT

With the exponential growth rate of bandwidth to transmit and receive data in the telecommunications market in recent years, access networks via fiber optics are already a reality today. Therefore, the paper aims to show and exemplify an access network via optical fiber. To achieve these objectives, following all the theoretical foundation, which is renowned optical communication system, as well as a practical illustration by presenting a case study, showing the practical conditions in the implementation of an access network via optical fiber.

Keywords: Access Networks. Fiber Optics. Optical Communication.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 MOTIVAÇÃO.....	17
1.2 JUSTIFICATIVA.....	18
1.3 OBJETIVOS.....	18
1.3.1 Objetivo Geral	18
1.3.2 Objetivos Específicos	18
1.4 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	18
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	19
2 FUNDAMENTAÇÃO TEORICA	20
2.1 SISTEMAS DE COMUNICAÇÕES ÓPTICAS.....	20
2.2 ELEMENTOS DE UMA REDE ÓPTICA.....	20
2.2.1 Fibra Óptica	21
2.2.1.1 Fibra Óptica Monomodo.....	24
2.2.1.2 Fibra Óptica Multimodo.....	25
2.2.1.2.1 <i>Fibra Óptica Multimodo de Índice Degrau</i>	26
2.2.1.2.2 <i>Fibra Óptica Multimodo de Índice Gradual</i>	26
2.2.2 Transmissor Óptico	27
2.2.2.1 Diodo Emissor de Luz.....	28
2.2.2.2 Diodo Laser.....	28
2.2.3 Receptor Óptico	29
2.2.4 Modulação	30
2.2.5 Multiplexação	31
2.2.5.1 TDM – Multiplexação por Divisão de Tempo.....	31
2.2.5.2 FDM – Multiplexação por Divisão de Frequência.....	32
2.2.5.3 WDM – Multiplexação por Divisão do Comprimento de Onda.....	33
2.3 PON – REDE ÓPTICA PASSIVA.....	37
2.3.1 Arquitetura PON	39
2.3.1.1 Topologia Barra.....	39
2.3.1.2 Topologia Estrela.....	40
2.3.1.3 Topologia Anel.....	41
2.3.1.4 Topologia Árvore.....	41
2.3.2 Tipos de Rede Óptica Passiva	42
2.3.2.1 APON – Rede Óptica Passiva Sobre Modo de Transferência Assíncrona...42	

2.3.2.2 BPON – Rede Óptica Passiva Banda Larga.....	43
2.3.2.3 EPON – Rede Óptica Passiva Sobre Ethernet.....	43
2.3.2.4 GPON – Rede Óptica Passiva Gigabit.....	44
2.4 TIPOS DE ACESSO VIA FIBRA ÓPTICA.....	44
2.4.1 FTTN – Fibra até o Nó.....	45
2.4.2 FTTC – Fibra até o Armário.....	45
2.4.3 FTTB – Fibra até o Prédio.....	46
2.4.4 FTTH – Fibra até a Casa.....	47
3 ESTUDO DE CASO – CIDADE DIGITAL DE SÃO JOSÉ.....	49
3.1 OBJETIVOS.....	49
3.2 ESTRATÉGIAS DE PLANEJAMENTO.....	49
3.3 DIMENSIONAMENTO DO PROJETO.....	50
3.4 ESTRUTURA DE REDE.....	51
3.4.1 POP – Ponto de Presença.....	51
3.4.2 OLT – Optical Line Terminator.....	53
3.4.3 ONU – Optical Network Unit.....	54
3.4.4 Rede Passiva.....	55
3.4.4.1 Cabo de Fibra Óptica.....	55
3.4.4.2 Distribuidor Interno Óptico.....	56
3.4.4.3 Divisor Óptico Passivo.....	56
3.4.4.4 Caixa de Emenda.....	57
3.4.4.5 Cordão e Extensão Óptica.....	58
3.5 CÁLCULO DA LARGURA DE BANDA.....	60
3.6 DIAGRAMA DE REDE.....	61
3.7 ATENUAÇÃO DO ENLACE ÓPTICO.....	63
4 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES.....	67
REFERENCIAS.....	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fibra.....	21
Figura 2 – Condução da luz através da fibra.....	22
Figura 3 – Cuidados ao lidar com a fibra.....	22
Figura 4 – Cabo destinado a links de longa distância.....	23
Figura 5 – Constituição da fibra óptica multimodo.....	25
Figura 6 – Propagação em fibra óptica multimodo de índice degrau.....	26
Figura 7 – Propagação em fibra óptica multimodo de índice gradual.....	27
Figura 8 – Largura espectral do led e laser.....	29
Figura 9 – Exemplo de diagrama de blocos do receptor – primeiro estágio.....	30
Figura 10 – Exemplo de rede WDM.....	35
Figura 11 – Componentes de uma rede PON.....	38
Figura 12 – Larguras de banda em comprimento de onda.....	38
Figura 13 – Multiplexação dos comprimentos de onda em TDMA.....	39
Figura 14 – Topologia em barra.....	40
Figura 15 – Topologia em estrela.....	40
Figura 16 – Topologia em anel.....	41
Figura 17 – Topologia em árvore.....	42
Figura 18 – Solução FTTN.....	45
Figura 19 – Solução FTTC.....	46
Figura 20 – Solução FTTB.....	47
Figura 21 – Solução FTTH.....	48
Figura 22 – Mapeamento das localidades.....	50
Figura 23 – Armário de telecomunicações externo.....	52
Figura 24 – Interligação dos POP's na topologia anel.....	53
Figura 25 – Chassi GEPON com 16 cartões OLT.....	54
Figura 26 – Optical Network Unit.....	54
Figura 27 – Distribuidor interno óptico.....	56
Figura 28 – Divisor óptico passivo.....	57
Figura 29 – Caixa de emenda externa.....	57
Figura 30 – Caixa de emenda interna.....	58
Figura 31 – Cordão óptico.....	59
Figura 32 – Extensão óptica.....	59

Figura 33 – Distribuição dos divisores ópticos do POP 01.....	61
Figura 34 – Distribuição dos divisores ópticos do POP 02.....	62
Figura 35 – Distribuição dos divisores ópticos do POP 03.....	62
Figura 36 – Diagrama físico da rede.....	63
Figura 37 – Perda em emenda por fusão.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Largura de banda por localidade.....	60
Tabela 2 – Demanda futura de trafego.....	61
Tabela 3 – Perdas por divisores ópticos balanceado.....	64
Tabela 4 – Perdas por divisores ópticos desbalanceado.....	64
Tabela 5 – Perdas no enlace óptico.....	65
Tabela 6 – Cálculo da margem de desempenho da OLT 01 do POP 03.....	66

LISTA DE SIGLAS

ADSL – *Asymmetric Digital Subscriber Line*
APON – *ATM Passive Optical Network*
ATM – *Asynchronous Transfer Mode*
BNC – *British Naval Connector*
BPON – *Broadband Passive Optical Network*
CATV – *Community Antenna Television*
CWDM – *Coarse Wavelength Division Multiplexing*
DSL – *Digital Subscriber Line*
DWDM – *Dense Wavelength Division Multiplexing*
EPON – *Ethernet Passive Optical Network*
ESCON – *Enterprise Systems Connection*
FDM – *Frequency Division Multiplexing*
FICON – *Fibre Connection*
FSAN – *Full Service Access Network*
FTTB – *Fiber to the Building*
FTTC – *Fiber to the Curb*
FTTH – *Fiber to the Home*
FTTN – *Fiber to The Node*
GND – *Ground*
GPON – *Gigabit Passive Optic Network*
GEPON – *Gigabit Ethernet Passive Optic Network*
HDTV – *High-definition television*
IEEE – *Institute of Electrical and Eletronics Engineers*
IP – *Internet Protocol*
ISDN – *Integrated Services Digital Network*
ITU-T – *International Telecommunications Union - Telecommunications*
LAN – *Local Area Network*
LASER – *Light Amplification by Simulated Emission of Radiation*
LD – *Laser Diode*
LED – *Light Emitting Diode*
LWP – *Low Water Peak*
MMF – *Multi Mode Fiber*
OLT – *Optical Line Terminal*

ONT – *Optical Network Terminal*
ONU – *Optical Network Units*
PCM – *Pulse Code Modulation*
PDH – *Plesiochronous Digital Hierarchy*
PON – *Passive Optical Network*
POS – *Passive Optical Splitter*
RDSI – *Rede Digital de Serviços Integrados*
SC – *Simplex Connector*
SDH – *Synchronous Digital Hierarchy*
SMF – *Single Mode Fiber*
ST – *Style Connector*
STM – *Synchronous Transport Module*
TDM – *Time Division Multiplexing*
TDMA – *Time Division Multiplexing Access*
UDWDM – *Ultra Dense Wavelength Division Multiplexing*
UHF – *Ultra High Frequency*
VDSL – *Very High Bit Rate Digital Subscriber Line*
VDSL2 – *Very High Bit Rate Digital Subscriber Line Second Generation*
VHF – *Very High Frequency*
WAN – *Wide Area Network*
WDM – *Wavelength Division Multiplexing*

1 INTRODUÇÃO

A necessidade da implementação de sistemas que permitissem muitas comunicações simultâneas começou já nas primeiras décadas do século XX. Por volta de 1926, foram criados os equipamentos telefônicos com onda portadora para transmissão de dois ou quatro canais de voz. Os primeiros modelos sofreram rápida evolução, ampliando de forma significativa a capacidade de transmissão (RIBEIRO, 2003).

O emprego de dispositivos semicondutores, a partir do início da década de 1950, deu grande impulso a esse desenvolvimento, tornando os circuitos eletrônicos mais eficientes, mais confiáveis, mais compactos, com menor consumo de potência. A possibilidade de esses componentes processarem sinais de frequências muito elevadas permitiu concentrar mais canais em uma mesma onda portadora num único meio de transmissão, com o emprego de sistemas poderosos de multiplexação, desta forma, o objetivo de ampliar a capacidade de comunicações foi cumprido com bom desempenho primeiramente pelos sistemas de frequências muito elevadas (VHF) e ultra-elevadas (UHF) e depois pelos enlaces de microondas. Todavia, as pressões oriundas da comunidade têm sempre forçado o aumento nas frequências das portadoras, de maneira a possibilitar o envio de maior número de informações e a prestação de novos serviços (RIBEIRO, 2003).

O desempenho de um sistema de telecomunicações costuma ser avaliado a partir de dois parâmetros fundamentais: o fator de atenuação e a largura de faixa. O primeiro estabelece a distância máxima de transmissão sem necessidade de repetidores ou sistemas capazes de recuperar o nível do sinal. O segundo fixará a máxima frequência de modulação permitida, em caso de sistemas analógicos, ou a taxa máxima de transmissão, no caso dos sistemas digitalizados, sem necessidade da restauração da forma dos pulsos (RIBEIRO, 2003).

Pensou-se em transmitir sinais óticos através da própria atmosfera, como acontece com os sinais de rádio (JUNIOR, 2001).

Com o advento da fibra, encontrou-se a melhor maneira de se transmitir este tipo de radiação, que devido às enormes vantagens em relação aos outros tipos de comunicações usados, serão, sem sombra de dúvidas, o tipo de telecomunicação mais usado doravante (JUNIOR, 2001).

1.1 MOTIVAÇÃO

A idéia de utilização dos fenômenos ópticos para comunicações data de uma época muito distante, provavelmente remontando à idade das cavernas. Os sinais de fogo e fumaça, sobre os quais era possível exercer algum controle, foram utilizados pelos primeiros homens para a transmissão rudimentar de mensagens da época. Por milhares de anos, os homens usaram sinais criados com essa técnica para comunicações dentro do alcance visível, segundo códigos rudimentares preestabelecidos (TOLEDO, 2001).

Após o grande avanço da Física durante a Idade Média e a Idade Moderna, alguns pesquisadores haviam concluído que a óptica era uma ciência terminada, da qual se poderia esperar algum avanço em conhecimentos já adquiridos, sem conseguir saltos significativos nem novas descobertas ou desenvolvimentos acentuados. Motivos para essas previsões derivavam do fato que as aplicações dos fenômenos luminosos, em geral, ficavam restritas à tecnologia oriunda da óptica geométrica, com o aperfeiçoamento de lentes, espelhos e outros aparelhos ópticos baseados nesses componentes. Os efeitos eram interpretados a partir do estudo dos raios luminosos, um recurso que se mostrou insuficiente para o estudo e a explicação de muitos fatos relativos à luz, posteriormente analisados de maneira mais rigorosa (TOLEDO, 2001).

Descobertas a partir da segunda metade do século XIX derrubaram a previsão de que a óptica tinha se completado como ciência. Em primeiro lugar, a teoria eletromagnética sintetizada por Maxwell consolidou a óptica ondulatória, uma idéia associada à luz desde o século XVII. Depois, em função de novos conceitos científicos do início do século XX, surgiram a eletrodinâmica quântica e a óptica quântica. Novos conhecimentos e novas invenções obtidos com recursos tecnológicos modernos sugeriram inúmeras aplicações para esta área. Além dos sistemas de comunicações, implementaram-se estudos sobre a termo-visão e a holografia, desenvolveram-se equipamentos que permitem armazenamento de dados através de uma situação de biestabilidade óptica, foi possível controlar algumas características do feixe de luz com dispositivos especialmente desenvolvidos para essas finalidades, e assim por diante (TOLEDO, 2001).

1.2 JUSTIFICATIVA

Devido ao constante aumento no consumo de banda e a procura cada vez maior por internet de um modo fácil, rápido e seguro se faz cada vez mais necessário o estímulo às implementações de rede via fibra óptica, junto com suas tecnologias cada vez mais inovadoras em relação às redes contribuindo assim para garantir o fornecimento necessário para serviços que utilizam cada vez mais banda, além de permitir um consumo de energia menor, com o uso de redes passivas.

Pelo fato de se usar uma tecnologia que centraliza a gestão de rede faz com que o espaço físico ocupado pela infra-estrutura seja menor, dado que os nós são menores e o número de fibras necessário para implantação também é menor, facilitando assim sua implementação.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Nosso propósito foi explicar as tecnologias que servem de base à transmissão óptica, diferenciar as arquiteturas existentes e abordar o aspecto prático da utilização de uma rede óptica como forma de acesso para transporte de dados.

1.3.2 Objetivos Específicos

Descrever de uma forma básica os conhecimentos e metodologias apropriadas para projetar uma rede de comunicação óptica, bem como os tipos de topologias envolvidas.

1.4 METODOLOGIA DA PESQUISA

A metodologia da pesquisa adotada durante todo processo desse trabalho foi concebida através de dissertações, livros acadêmicos, sites de internet sobre fibras

ópticas, além da realização de um estudo de caso baseado no projeto (colocar o nome do projeto) a ser implantado na cidade de São José/SC, material cedido pela orientadora sobre padrões e normas a serem adotadas e um contexto elaborado pelos acadêmicos Leonardo Borges de Melo e André Luis Nunes, buscando sempre clareza e objetividade.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

No capítulo 2 segue a toda a fundamentação teórica, onde é conceituado o sistema de comunicação óptica, os elementos de uma rede óptica e as técnicas de modulação e multiplexação envolvidas. Após estes conceitos básicos, segue a descrição dos tipos de redes ópticas passivas e suas topologias, finalizando com os tipos de acessos via fibra óptica.

No capítulo 3 é feita uma ilustração prática com a apresentação de um estudo de caso, mostrando condições práticas na implantação de uma rede de acesso via fibra óptica. Este estudo de caso será usado como base para elaboração do capítulo 4, onde são apresentadas as discussões e conclusões finais do trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

Neste capítulo iremos abordar a fundamentação teórica de um sistema de comunicação óptica, descrevendo os elementos básicos de uma rede óptica, as técnicas de modulação e multiplexação envolvida, os tipos de redes ópticas e as formas de acesso via fibra óptica.

2.1 SISTEMAS DE COMUNICAÇÕES ÓPTICAS

Sistemas de comunicações ópticas são sistemas de transmissão que utilizam a luz para transferência de informação. Em um sistema básico, tem-se o transmissor, que é constituído por um dispositivo que converte o sinal do domínio elétrico para o domínio óptico, o meio de transmissão, que guia a luz até o receptor, e o próprio receptor, que é responsável por converter o sinal do domínio óptico para o domínio elétrico (FILHO, 2010).

A fibra óptica determinou um marco histórico na evolução dos sistemas de comunicações. As fibras ópticas, que são estruturas finas e flexíveis constituídas de vidro ou plástico, permitem propagar o sinal de informação utilizando ondas de luz por longas distâncias (FILHO, 2010).

Atualmente, sistemas de comunicações ópticas utilizando fibras ópticas compõem a tecnologia que podem prover a maior banda de transmissão entre os sistemas de transmissão conhecidos atualmente.

Por esse e vários outros fatores, a comunidade científica internacional investe muita atenção nesta área, pois os sistemas de comunicações ópticas ainda possuem um grande potencial para novas descobertas e desenvolvimento (FILHO, 2010).

2.2 ELEMENTOS DE UMA REDE ÓPTICA

Um sistema de comunicação por fibra óptica é constituído por elementos básicos como transmissor, compreendendo a fonte de luz e o circuito de modulação associado, um cabo óptico, oferecendo proteção ambiental e mecânica às fibras

ópticas nele contidas, e um receptor, englobando o fotodetector mais o circuito associado de amplificação e regeneração do sinal.

2.2.1 Fibra Óptica

A fibra óptica foi inventada pelo físico indiano Narinder Singh Kanpany, é constituída por um filamento composto de material dielétrico, geralmente plástico ou sílica, com a capacidade de transmitir luz através de sua longa estrutura cilíndrica, transparente e flexível. A fibra tem dimensões variáveis, dependendo da aplicação, mas sempre comparáveis às de um fio de cabelo e apresenta imunidade a interferências eletromagnéticas (LIMA, 2002).

Fibras ópticas, simplificadaamente, são fios que conduzem a potência luminosa injetada pelo emissor de luz, até o fotodetector. São estruturas transparentes, flexíveis, geralmente compostas por dois materiais dielétricos, tendo dimensões próximas a de um fio de cabelo humano (PEREIRA, 2008).

Há uma região central na fibra óptica, por onde a luz passa, que é chamada de núcleo. O núcleo pode ser composto por um fio de vidro especial ou polímero que pode ter apenas 125 micrômetros de diâmetro nas fibras mais comuns e dimensões ainda menores em fibras mais sofisticadas (PEREIRA, 2008).

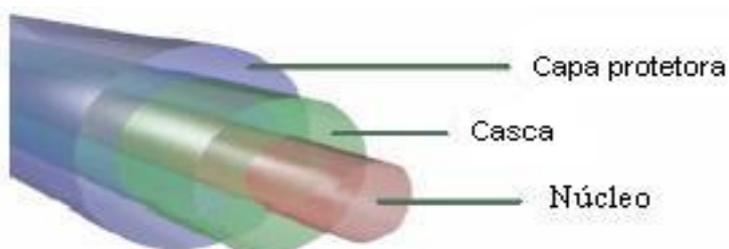


Figura 1 – Fibra

Fonte: PEREIRA, 2008.

Os cabos de fibra óptica utilizam o fenômeno da refração interna total para transmitir feixes de luz a longas distâncias. Um núcleo de vidro muito fino, feito de sílica com alto grau de pureza é envolvido por uma camada (também de sílica) com índice de refração mais baixo, chamada de cladding, o que faz com que a luz transmitida pelo núcleo de fibra seja refletida pelas paredes internas do cabo. Com

isso, apesar de ser transparente, a fibra é capaz de conduzir a luz por longas distâncias, com um índice de perda muito pequeno (MORIMOTO, 2008).



Figura 2 – Condução da luz através da fibra

Fonte: MORIMOTO, 2008.

Embora a sílica seja um material abundante, os cabos de fibra óptica são caros devido ao complicado processo de fabricação, assim como no caso dos processadores, que são produzidos a partir do silício. A diferença entre sílica e silício é que o silício é o elemento Si puro, enquanto a sílica é composta por dióxido de silício, composto por um átomo de silício e dois de oxigênio. O silício é cinza escuro e obstrui a passagem da luz, enquanto a sílica é transparente (MORIMOTO, 2008).

O núcleo e o cladding são os dois componentes funcionais da fibra óptica. Eles formam um conjunto muito fino (com cerca de 125 microns, ou seja, pouco mais de um décimo de um milímetro) e frágil, que é recoberto por uma camada mais espessa de um material protetor, que tem a finalidade de fortalecer o cabo e atenuar impactos chamado de coating, ou buffer. O cabo resultante é então protegido por uma malha de fibras protetoras, composta de fibras de kevlar (que têm a função de evitar que o cabo seja danificado ou partido quando puxado) e por uma nova cobertura plástica, chamada de jacket, ou jaqueta, que sela o cabo.



Figura 3 – Cuidados ao lidar com a fibra

Fonte: MORIMOTO, 2008.

Cabos destinados a redes locais tipicamente contêm um único fio de fibra, mas cabos destinados a links de longa distância e ao uso na área de telecomunicações contêm vários fios, que compartilham as fibras de kevlar e a cobertura externa conforme mostrado na figura 4.



Figura 4 – Cabo destinado a links de longa distância

Fonte: MORIMOTO, 2008.

Como os fios de fibra são muito finos, é possível incluir um grande volume deles em um cabo de tamanho modesto, o que é uma grande vantagem sobre os fios de cobre. Como a capacidade de transmissão de cada fio de fibra é bem maior que a de cada fio de cobre e eles precisam de um volume muito menor de circuitos de apoio, como repetidores, usar fibra em links de longa distância acaba saindo mais barato. Outra vantagem é que os cabos de fibra são imunes a interferência eletromagnética, já que transmitem luz e não sinais elétricos, o que permite que sejam usados mesmo em ambientes onde o uso de fios de cobre é problemático (MORIMOTO, 2008).

Como criar links de longa distância cavando valas ou usando cabos submarinos é muito caro, é normal que seja usado um volume de cabos muito maior que o necessário. Os cabos adicionais são chamados de fibra escura (dark fiber), não por causa da cor, mas pelo fato de não serem usados. Eles ficam disponíveis para expansões futuras e para substituição de cabos rompidos ou danificados. Quando ouvir falar em padrões "para fibras escuras", tenha em mente que são justamente padrões de transmissão adaptados para uso de fibras antigas ou de mais baixa qualidade, que estão disponíveis como sobras de instalações anteriores. Já na transmissão de dados usando sinais luminosos oferece desafios maiores, já que os circuitos eletrônicos utilizam eletricidade e não luz. Para solucionar o problema, é

utilizado um transmissor óptico, que converte o sinal elétrico no sinal luminoso enviado através da fibra e um receptor, que faz o processo inverso. O transmissor utiliza uma fonte de luz, combinada com uma lente, que concentra o sinal luminoso, aumentando a percentagem que é efetivamente transmitida pelo cabo. Do outro lado, é usado um receptor ótico, que amplifica o sinal recebido e o transforma novamente nos sinais elétricos que são processados (MORIMOTO, 2008).

De acordo com o número de modos, a fibra óptica pode ser classificada como monomodo ou multimodo (PEREIRA, 2008).

2.2.1.1 Fibra Óptica Monomodo

As fibras monomodo possuem um único modo de propagação, ou seja, os raios de luz percorrem o interior da fibra por um só caminho. Também se diferenciam pela variação do índice de refração do núcleo em relação à casca, e se classificam em índice degrau *Standard*, dispersão deslocada (*dispersionshifted*) ou *non-zero dispersion* (CAMPOS, 2002).

Por possuírem suas dimensões mais reduzidas que as fibras multimodos, as fibras monomodais têm a fabricação mais complexa. Contudo, as características destas fibras são muito superiores às multimodos, principalmente no que diz respeito à banda passante, mais larga, o que aumenta a capacidade de transmissão. Apresenta atenuação mais baixa, aumentando, com isto, a distância entre as transmissões sem o uso de repetidores. Os enlaces com fibras monomodo, geralmente, ultrapassam 50 km entre os repetidores, dependendo da qualidade da fibra óptica. As fibras monomodo do tipo dispersão deslocada (*dispersionshifted*) têm concepção mais moderna que as anteriores e apresentam características com muitas vantagens, como baixíssima atenuação e largura de banda bastante larga, porém, apresentam desvantagem quanto à fabricação, que exige técnicas avançadas e de difícil manuseio (instalação, emendas), com custo muito superior quando comparadas com as fibras do tipo multimodo (CAMPOS, 2002).

Possui-se algumas vantagens na fibra monomodo como distâncias maiores e ilimitadas, quando comparadas as Fibras Ópticas Multimodo e taxas de Transmissão muito mais altas (superiores a 160 Gbit/s) quando comparadas as Fibras Ópticas Multimodo. Por outro lado possui-se também algumas desvantagens devido as dimensões do Núcleo da Fibra Óptica Monomodo serem extremamente reduzidas,

isto torna difícil o alinhamento, que é o caso de emendas, conectores, etc. e também um alto custo, quando comparado á outros tipos de Fibra, não só da Fibra em si, mas também dos materiais agregados, como conectores, componentes eletrônicos e, outros (FERNANDES, 2009).

2.2.1.2 Fibra Óptica Multimodo

Abaixo representado na figura 5 temos à constituição de uma fibra óptica multimodo.

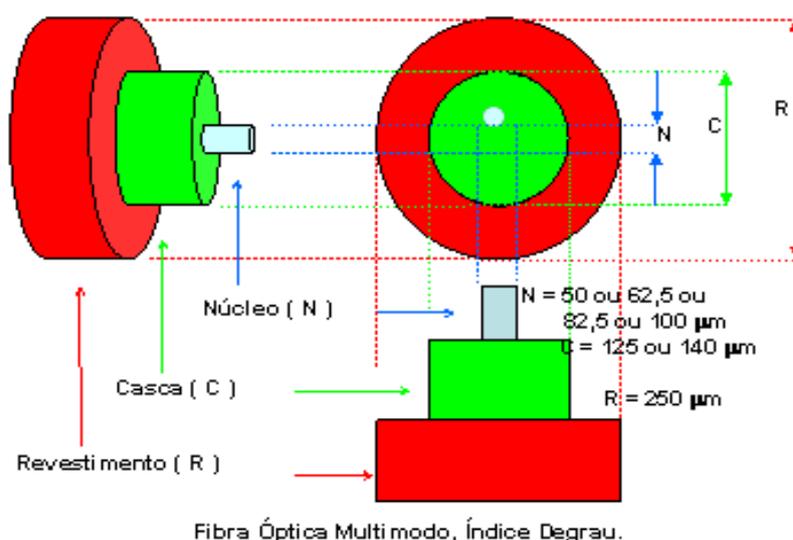


Figura 5 – Constituição da fibra óptica multimodo

Fonte: FERNANDES, 2009.

Como demonstrado na figura 5 a camada externa é denominada de Revestimento (R), em inglês *Coating*, e geralmente tem diâmetro de 250 μm. Logo abaixo vem a Casca (C), em inglês *Cladding*, com diâmetros de 125 ou 140 μm. E no centro está o Núcleo (N), em inglês *Core*, que pode ser construído com diâmetros de 50; 62,5; 82,5 ou 100 μm. A principal vantagem destas Fibras seria o baixo custo, quando comparado a outros tipo de Fibras usadas na mesma aplicação (FERNANDES, 2009).

No caso das Fibras Ópticas do tipo Multimodo confeccionadas em Plástico especial, dotado de um de alto índice refração, o diâmetro (N) do Núcleo é geralmente da ordem de 1 000 μm (FERNANDES, 2009).

Em relação as Fibras Ópticas Multimodo existem duas divisões conhecidas por Fibra Óptica Multimodo de Índice Degrau e Fibra Óptica Multimodo de Índice Gradual.

2.2.1.2.1 Fibra Óptica Multimodo de Índice Degrau

Dependendo de como o Núcleo é construído, a propagação da Luz ao longo da Fibra irá variar. Para o caso do chamado Índice Degrau, em inglês *Step Index*, a figura 6 ilustra como se processa esta propagação (FERNANDES, 2009).

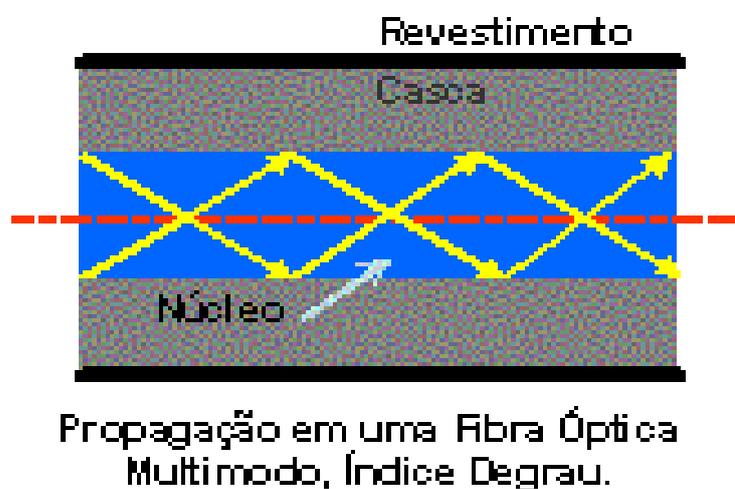
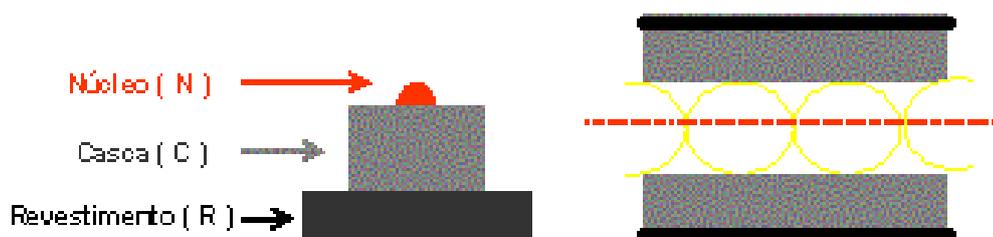


Figura 6 – Propagação em fibra óptica multimodo de índice degrau
Fonte: FERNANDES, 2009.

2.2.1.2.2 Fibra Óptica Multimodo de Índice Gradual

A Fibra Óptica Multimodo Índice Gradual, em inglês *Graded Index*, que está ilustrada na figura 7, constitui uma evolução da Fibra Óptica Multimodo de Índice Degrau, projetada para prover uma melhor propagação dos Feixes de Luz incidentes na Fibra Óptica Multimodo (FERNANDES, 2009).



Propagação em uma Fibra Óptica Multimodo, Índice Gradual.

Figura 7 – Propagação em fibra óptica multimodo de índice gradual

Fonte: FERNANDES, 2009.

2.2.2 Transmissor Óptico

Os transmissores ópticos são responsáveis por converter sinais elétricos em sinais ópticos que irão trafegar na fibra. Os transmissores ópticos convencionais modulam a fonte óptica pela sua intensidade, através da variação da corrente elétrica injetada no gerador óptico (TABINI; NUNES, 1990).

As fibras ópticas jamais teriam ganhado a ênfase que ganharam se não houvesse um desenvolvimento grande em paralelo das fontes luminosas (fotoemissores) e dos receptores luminosos (fotodetectores). Estes dispositivos são ambos feitos com materiais semicondutores, tendo suas características dadas por tais compostos. As fontes devem possuir potência de emissão luz que permita a transmissão por longos espaços, variar o mínimo possível com as condições do meio e tornar viável o acoplamento da luz na fibra, através das lentes convergentes ou de outros métodos (KEISER, 1991).

As fontes de luz mais comuns para os sistemas de comunicação por fibra óptica são os LED's, porque emitem luz invisível próxima do infravermelho. Sua operação é como a operação básica de um diodo comum. Uma pequena tensão é aplicada entre seus terminais, fazendo uma pequena corrente fluir através da junção (CAMPOS, 2002).

Há dois tipos básicos de fontes luminosas: os diodos emissores de luz (LED, *Light Emitting Diodes*) e o diodo laser. A diferença é que nos LED's as recombinações são espontâneas, enquanto que no diodo laser, elas são estimuladas. Uma das técnicas para tal estimulação usada no diodo laser é colocar

dois espelhos rigorosamente paralelos, de tal forma que ocorra interferência construtiva entre ondas sucessivamente construtivas até que a potência desejada seja atingida e o laser atravesse um dos espelhos (KEISER, 1991).

2.2.2.1 Diodo Emissor de Luz

Realiza a conversão de sinais elétricos em sinais ópticos através do processo de fotogeração por recombinação espontânea. Os LED's são utilizados em sistemas de comunicação que exijam taxas de transferência menores do que aproximadamente 100 a 200 Mbits/s. Em decorrência das diferenças estruturais entre LED's e LASER's, estes possuem diferenças funcionais que devem ser consideradas ao se optar pela aplicação de um dos dois componentes (TABINI; NUNES, 1990).

Os LED's são mais simples, baratos e confiáveis, mas possuem espectro mais largo de luz gerada com uma emissão incoerente, pior eficiência de acoplamento de luz na fibra e limitações na velocidade de modulação. Por isso, os LED's são usados principalmente em sistemas de menor capacidade de transmissão, geralmente na primeira e segunda janelas ópticas (PEREIRA, 2008).

2.2.2.2 Diodo Laser

Realiza a conversão de sinais elétricos em sinais ópticos através do processo de geração estimulada de luz. Em decorrência das diferenças estruturais entre LED's e Lasers, estes possuem diferenças funcionais que devem ser analisadas ao se optar pela aplicação de um dos dois componentes (TABINI; NUNES, 1990).

Os diodos laser, por sua vez, geram uma radiação mais coerente, com espectro mais estreito e feixe mais diretivo, com potências maiores. Seu custo, no entanto, é mais elevado que o dos LED's (KEISER, 1991).

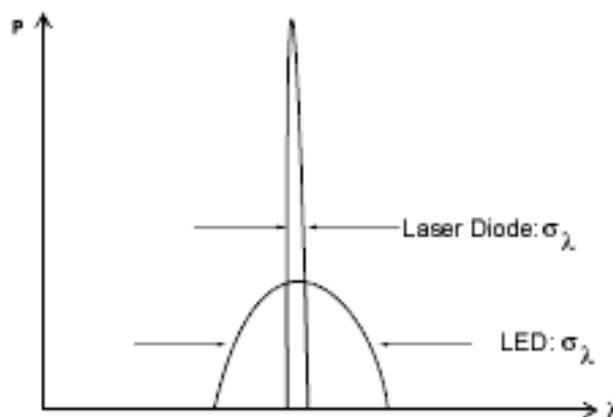


Figura 8 – Largura espectral do led e laser

Fonte: KEISER, 1991

2.2.3 Receptor Óptico

Os receptores ópticos (ou fotodetectores) são responsáveis pela conversão dos sinais ópticos recebidos da fibra em sinais elétricos. Os fotodetectores devem operar com sucesso nos menores níveis de potência óptica possíveis, convertendo o sinal com um mínimo de distorção e ruído, a fim de garantir o maior alcance possível (TABINI; NUNES, 1990).

A função dos fotodetectores é absorver a luz transmitida pela fibra e convertê-la em corrente elétrica para processamento do receptor. O ideal é que os fotodetectores tivessem o maior alcance possível, operando nos menores níveis possíveis de potência óptica, e convertendo-a em eletricidade com o mínimo de erros e de ruído (KEISER, 1991).

A conversão de luz em corrente é realizada utilizando a energia do fóton para retirar elétrons da camada de valência de um semicondutor (fotoionização), gerando portadores de carga e colocando-os em movimento, o que caracteriza a corrente. Há dois tipos básicos de fotodiodos, o fotodiodo p-i-n e o fotodiodo de avalanche (*Avalanche photodiode*). O primeiro é um fotodiodo (diodo receptor de luz) comum que tem entre suas regiões P e N, uma região não dopada, chamada de região intrínseca, cujo objetivo é manter o campo elétrico na região constante. O segundo, por sua vez, é próximo ao p-i-n, mas gera campos elétricos mais fortes o que o torna mais sensível que o p-i-n e, ao mesmo tempo, aumenta o ruído captado (KEISER, 1991).

A eficiência de um receptor mede-se verificando a razão entre o sinal e o ruído. Isso ocorre porque a potência óptica que é recebida pode chegar a nanowatts, o que torna necessária a amplificação do sinal. Assim, A eficiência de um fotodetector depende de sua capacidade de amplificar o sinal, sem gerar ruído novo nem amplificar os que vêm misturados com o sinal (KEISER, 1991).

Os receptores luminosos estão sujeitos a diversos fatores de contaminação, dentre os quais a potência óptica de polarização, que pode ser tratada como uma radiação de fundo, e a corrente escura, que é a corrente gerada pela excitação térmica do receptor, sem que ele esteja recebendo luz, entre outros (KEISER, 1991).

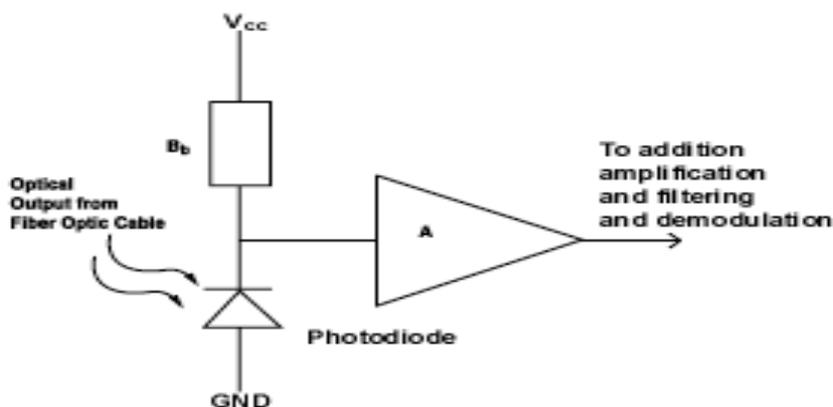


Figura 9 – Exemplo de diagrama de blocos do receptor – primeiro estágio

Fonte: KEISER, 1991

2.2.4 Modulação

Modulação é o processo pelo qual, através de uma portadora, um sinal em vez de ser transmitido em sua forma original é transmitido com mudança de amplitude, frequência ou de fase. Define-se modulação da portadora o processo pelo qual o sinal original varia a portadora em amplitude, frequência ou fase (CAMPOS, 2002).

A modulação de uma portadora senoidal é mais utilizada hoje em sistemas de rádio, onde é utilizada para converter um sinal transmitido em uma banda de frequência em que os receptores possam detectá-la melhor e separar as diferentes ondas. O sinal pode ser recuperado pela detecção da portadora e absorção das mudanças de amplitude, frequência ou fase, dependendo do tipo da modulação. Este tipo de transmissão é denominado transmissão analógica. As técnicas de modulação de portadora são raramente utilizadas com fibras ópticas, geralmente

ocorrem quando a transmissão analógica oferece alguma vantagem em custo ou formato de sinal para uma aplicação específica (CAMPOS, 2002).

O PCM (Pulse Code Modulation) é outra técnica de modulação muito empregada em sistemas de comunicação por fibras ópticas (CAMPOS, 2002).

Tanto para modulação de portadora analógica quanto para modulação código de pulso, o transmissor óptico (LED ou LASER (ILD)) transmite o sinal pela variação da potência da saída. Esta portadora e a forma de onda do sinal podem ser representadas por uma variação proporcional na potência de saída óptica (CAMPOS, 2002).

Um pulso é formado pelo chaveamento da fonte, apresentando dois estados bem definidos: on e off, em aplicações digitais. Então, em sistemas digitais, um pulso pode ser representado por um burst de luz na fibra (nível lógico 1 - on) e pela ausência de um burst de luz (nível lógico 0 - off) (CAMPOS, 2002).

2.2.5 Multiplexação

A ideia básica de multiplexação é que diferentes tipos de sinais podem ser transportados por um sistema de transmissão óptico, ou seja, é um meio em que é possível transmitir dois ou mais canais de informação simultaneamente (CAMPOS, 2002).

São definidos três tipos de multiplexação, que serão tratados a seguir:

- TDM (Time Division Multiplexing – Multiplexação por Divisão de Tempo;
- FDM (Frequency Division Multiplexing – Multiplexação por Divisão de Frequência;
- WDM (Wavelength Division Multiplexing – Multiplexação por Divisão do Comprimento de Onda).

2.2.5.1 TDM – Multiplexação por Divisão de Tempo

É o método de multiplexação de vários canais em um único canal, dado pela associação de cada canal a um intervalo de tempo diferente para transmissão de um

grupo de bits. É utilizado apenas com sinais binários provenientes de modulação por código de pulso (PCM), sem se importar se a origem do sinal é analógica ou digital (CAMPOS, 2002).

Esta associação de intervalos é obtida quando cada canal digital que origina a informação entra no multiplexador e é armazenado em um buffer de memória denominado bloco de sincronismo. As funções do multiplexador, como a amostragem de cada canal de entrada a taxas com velocidades compatíveis às requeridas pelo sistema, devem se feitas. Nesta taxa a amostragem, o circuito multiplexador pode amostrar o primeiro bit de informação dos canais 1 a N (último canal) e adicionar um overhead de informação de volta ao primeiro canal, antes que o próximo bit de informação do canal 1 entre. Este multiplexador pode aceitar um ou mais bits binários ao mesmo tempo de cada canal e gerar, depois, vários pulsos que compensam a transmissão do sinal (CAMPOS, 2002).

O bit de overhead é utilizado para que o demultiplexador, no lado do receptor, possa identificar os canais, que são separados e reconstruídos (CAMPOS, 2002).

Pela não utilização de banda de guarda o TDM se torna muito mais eficiente que o FDM. A única ineficiência é que um pequeno número de bits é adicionado ao conjunto de pulsos (dados) transmitido, para prover ao multiplexador e demultiplexador sincronismo e detecção de erro, bem como alguns poucos bits extras para gerenciamento em sistemas de comunicação em redes. Outro aspecto desvantajoso para o TDM é o custo da codificação digital PCM (CAMPOS, 2002).

2.2.5.2 FDM – Multiplexação por Divisão de Frequência

É o método pelo qual vários canais de informação são multiplexados em um único canal, dado pela associação de cada um destes canais a uma portadora diferente. Para tornar isto possível, cada canal de origem ou banda base modula uma portadora de uma frequência diferente em amplitude, frequência ou fase. Cada nova portadora modulada será referida como canal intermediário. Cada um desses canais intermediários é, então, combinado em um canal de transmissão simples, geralmente aplicando-o a um circuito combinador composto por um arranjo resistivo (talvez com alguma amplificação), não muito diferente de um divisor de potências (CAMPOS, 2002).

Isto resulta em um sinal composto, onde cada canal é identificado como uma banda separada de frequências, e que pode ser identificado por uma frequência portadora discreta (CAMPOS, 2002).

Este tipo de multiplexação é caracterizado pelo seu baixo custo e pela multiplexação de vários canais em um único canal, com uma largura de banda junta. Por isto esta técnica é utilizada na propagação de sinais de rádio e TV.

Sua desvantagem, quando aplicada a fibras ópticas, é que a linearidade das fontes ópticas, embora algumas estejam entre 0,001% e 0,1%, não é suficiente para evitar a geração de distorção harmônica (CAMPOS, 2002).

Não segue nenhum padrão específico. Ele é desenvolvido e fabricado para aplicações específicas, como TV a cabo (CAMPOS, 2002).

2.2.5.3 WDM – Multiplexação por Divisão do Comprimento de Onda

Os outros tipos de multiplexação eram usados para multiplexar canais, mas em sistemas ópticos eles são empregados em etapas onde os sinais a serem transmitidos ainda são elétricos. No caso do WDM, ele multiplexa "cores" (comprimento de ondas de luz) em uma única fibra óptica, utilizando várias fontes de vários comprimentos de onda (CAMPOS, 2002).

Funciona como o FDM dentro de uma porção de infravermelho do espectro eletromagnético. Cada portadora óptica, em um comprimento de onda diferente, pode carregar vários canais elétricos que foram multiplexados com técnicas FDM e TDM. O WDM, portanto, oferece um outro nível de multiplexação para sistemas de fibra óptica que os sistemas puramente elétricos não possuem (CAMPOS, 2002).

Mas esta técnica não é aplicada em redes locais porque as taxas de transmissão e as distâncias fazem com que as aplicações em LAN sejam "simples" para cada fibra óptica, não demandando sistemas ópticos complexos, como é o caso de telefonia e CATV (CAMPOS, 2002).

Rede WDM é o conjunto de equipamentos e meios físicos que têm a capacidade de otimizar o uso de redes de fibra óptica. Este sistema tem o objetivo de fornecer uma infra-estrutura de meios ópticos que permite a inserção de mais de um sistema de telecomunicações, seja ele para redes de dados e/ou voz, em uma única fibra óptica (ERRIQUEZ; FILHO; FREITAS, 2004).

Atualmente a Rede WDM é utilizada em muitas empresas que prestam serviços de Telecomunicações, públicos e privados, em todo o mundo (ERRIQUEZ; FILHO; FREITAS, 2004).

A rede WDM utiliza a tecnologia de Multiplexação Óptica para compartilhar a mesma fibra com diversos sinais ópticos de diferentes comprimentos de onda, que são usualmente denominados de canais com “cores” distintas. A taxa de transmissão de cada canal pode variar de 2 Mbit/s (E1) até 10 Gbit/s (STM-64), dependendo da aplicação, sendo que a sua maior utilização ocorre nos sistemas que necessitam taxas de transmissão acima 155 Mbits/s (maior que STM-1) (ERRIQUEZ; FILHO; FREITAS, 2004).

Sua elevada flexibilidade para transportar diferentes tipos de hierarquias digitais permite oferecer interfaces compatíveis com as diversas aplicações existentes, entre elas as redes de transmissão PDH e SDH, as redes Multiserviços ATM, IP e Frame Relay, e aplicações específicas para redes de dados e de computadores de grande porte (Fast Ethernet, Gbit Ethernet, interfaces ESCON, FICON e Fiber-Channel, entre outras) (ERRIQUEZ; FILHO; FREITAS, 2004).

A tecnologia das redes WDM permite ainda implementar mecanismos ópticos de proteção nos equipamentos ou diretamente nas redes da camada de aplicação, oferecendo serviços com alta disponibilidade e efetiva segurança no transporte de informações.

Uma rede WDM é composta por:

- Rede Física: é o meio de transmissão que interliga os equipamentos WDM, composto pelos cabos de fibra óptica.
- Equipamentos: são os multiplexadores, “transponders”, amplificadores e equipamentos de cross conexão de diversas capacidades que executam o transporte de informações.
- Sistema de Gerência: é o sistema responsável pelo gerenciamento da rede WDM, contendo as funcionalidades de supervisão e controle da rede, e de configuração de equipamentos e provisionamento de facilidades.

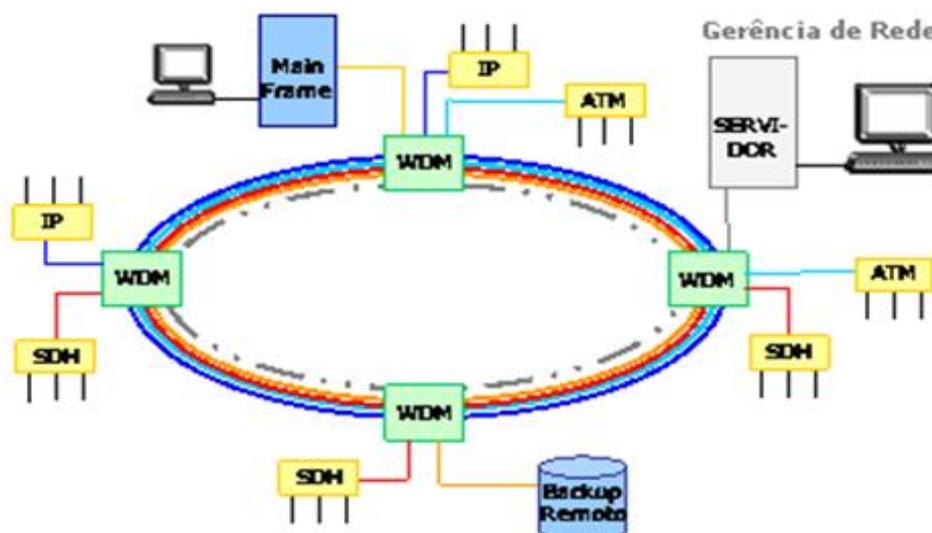


Figura 10 – Exemplo de rede WDM

Fonte: (ERRIQUEZ; FILHO; FREITAS, 2004)

Algumas vantagens e restrições que a rede WDM oferece quando comparada com outras tecnologias:

- Permite utilizar equipamentos de aplicação para redes de transporte e multisserviços sobre a mesma infra-estrutura de meio físico óptico;
- Permite o tráfego de qualquer tecnologia, independente do fabricante, através do uso de transponders;
- Permite a economia de equipamentos de aplicação ao longo das rotas, mediante a instalação destes apenas nos pontos de troca de tráfego;
- Permite a economia e até mesmo a otimização do uso de fibras ópticas em locais com alta densidade de redes e acessos.
- Entretanto, a tecnologia WDM apresenta ainda as seguintes desvantagens:
- O projeto, instalação e operação da rede WDM é complexo e deve ser feito com um planejamento criterioso e detalhado;
- Não existe padronização de equipamentos e da tecnologia WDM, o que impede que sejam usados equipamentos de fabricantes distintos num mesmo enlace da rede.

A multiplexação óptica é a característica mais importante a ser definida quando do planejamento de um sistema WDM. De acordo com as necessidades da aplicação, identifica-se o qual tipo de sistema WDM a ser implantado definindo-se o espaçamento entre os canais ópticos, limitando assim a sua capacidade. Este

espaçamento, que pode variar de 200 GHz a 12,5 GHz, é padronizado pelas normas G.694.1 (DWDM) e G.694.2 (CWDM) do ITU-T.

Os tipos de sistemas WDM mais comuns são:

- CWDM (CoarseWaveDivision Multiplex): sistema cuja multiplexação óptica possui espaçamento de 200 GHz e pode variar a quantidade de canais de 4 a 16 dependendo da fibra óptica adotada no projeto. Sua taxa de transmissão pode variar de E3 (34 Mbit/s) a STM-16 (2,5 Gbit/s). Possui um melhor desempenho com o uso da fibra óptica tipo LWP.
- DWDM (DenseWaveDivision Multiplex): sistema cuja multiplexação óptica possui espaçamento que varia de 100 GHz a 25 GHz, e pode variar a quantidade de canais de 16 a 128. Sua taxa de transmissão pode variar de STM-1 (155 Mbits/s) a STM-64 (10 Gbits/s). Possui um melhor desempenho com o uso a fibra óptica tipo SM.
- UDWDM (Ultra DenseWaveDivision Multiplex): sistema cuja multiplexação óptica possui espaçamento menor que 25 GHz e possui uma quantidade de canais superior a 128. Este sistema atualmente ainda encontra-se em desenvolvimento.

No futuro as redes WDM tendem a ter uma participação maior na camada de serviços, deixando de ser redes puramente dedicadas a transporte de outras tecnologias e passando a fazer parte do acesso, interferindo diretamente na receita da empresa (ERRIQUEZ; FILHO; FREITAS, 2004).

Esta tendência deve ser reforçada pela necessidade do aproveitamento das redes ópticas já implantadas, e pelo desenvolvimento de interfaces cada vez mais sofisticadas, quem permitirão fornecer serviços plenamente integrados com os sistemas de aplicação dos Clientes, sem a necessidade de equipamentos de acesso dedicados (ERRIQUEZ; FILHO; FREITAS, 2004).

Para ter sucesso, os projetos envolvendo redes WDM devem ser especificados com base no planejamento de venda e de ocupação do mercado pela operadora de serviços de telecomunicações, uma vez que o custo inicial desses projetos é muito maior do que os projetos de redes de transporte convencionais, utilizando tecnologia SDH (ERRIQUEZ; FILHO; FREITAS, 2004).

Apesar de haver excesso de fibras ópticas implantadas no Brasil e no mundo, e da rede WDM ter um comportamento de fibra virtual, sua utilização em redes de alta capacidade, principalmente de Longa Distância, sempre será vantajosa, uma vez que as ampliações das redes da camada de aplicação terão sempre um custo menor, pois os equipamentos adicionais podem ser implantados somente nos pontos de troca de tráfego e não mais em todos os pontos do enlace. Desta forma o investimento de longo prazo sempre será menor, promovendo uma maior relação custo benefício para a rede como um todo (ERRIQUEZ; FILHO; FREITAS, 2004).

2.3 PON – REDE ÓPTICA PASSIVA

Uma rede PON (Passive Optical Network) não utiliza componentes elétricos para fazer a distribuição do sinal. Possuem em sua arquitetura equipamentos passivos usados principalmente como uma solução de acesso à última milha (Last-Mile), que leva as informações mais próximas do cliente, tem a possibilidade de entregar altas taxas de velocidade para banda larga (OLIVEIRA, 2010).

Os principais componentes que caracterizam as redes PON são:

- OLT (OpticalLine Terminal) Terminal de Linha Óptica;
- ONU (Optical Network Units) Unidade de Rede Óptica;
- POS (Passive OpticalSplitter) Divisor Óptico Passivo.

O sinal óptico é transmitido pelo OLT por uma única fibra. A essa fibra são feitas derivações através do uso de divisores ópticos passivos (POS - Passive OpticalSplitter) para conectá-la às ONU's, conforme a Figura 11. Cada ONU transmite e recebe um canal óptico independente e prove para os usuários finais alocação dinâmica de banda entre 1Mbit/s e 1Gbit/s, para as aplicações de voz, dados e vídeo (SANCHEZ, 2004).

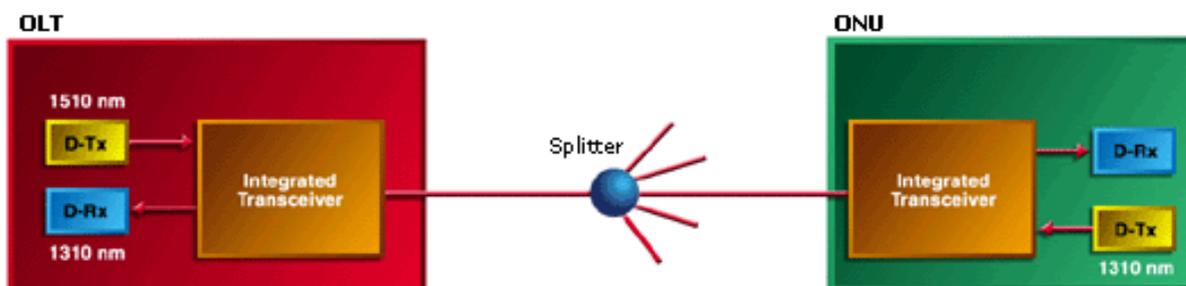


Figura 11 – Componentes de uma rede PON

Fonte: SANCHEZ, 2004

A tecnologia de acesso por uma rede PON possui baixo custo e podem convergir serviços de dados, vídeo e voz em uma única fibra óptica através de um tráfego bidirecional com a multiplexação do comprimento de onda (OLIVEIRA, 2010).

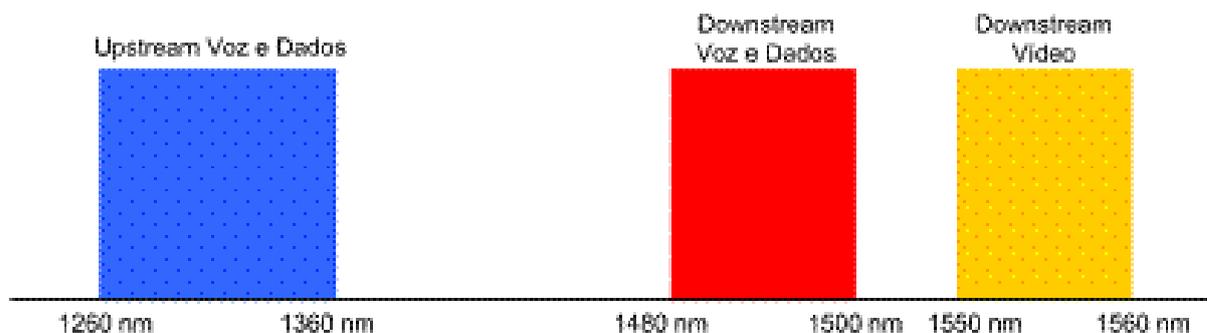


Figura 12 – Larguras de banda em comprimento de onda

Fonte: OLIVEIRA, 2010

O tipo de sinalização utilizada para que não haja colisões durante o tráfego é o TDMA (Time Division Multiplexing Access – Multiplexação de Acesso por divisão de Tempo), onde cada usuário transmite sua informação dentro de um tempo específico nomeado para o mesmo, como se observa na figura abaixo (OLIVEIRA, 2010).

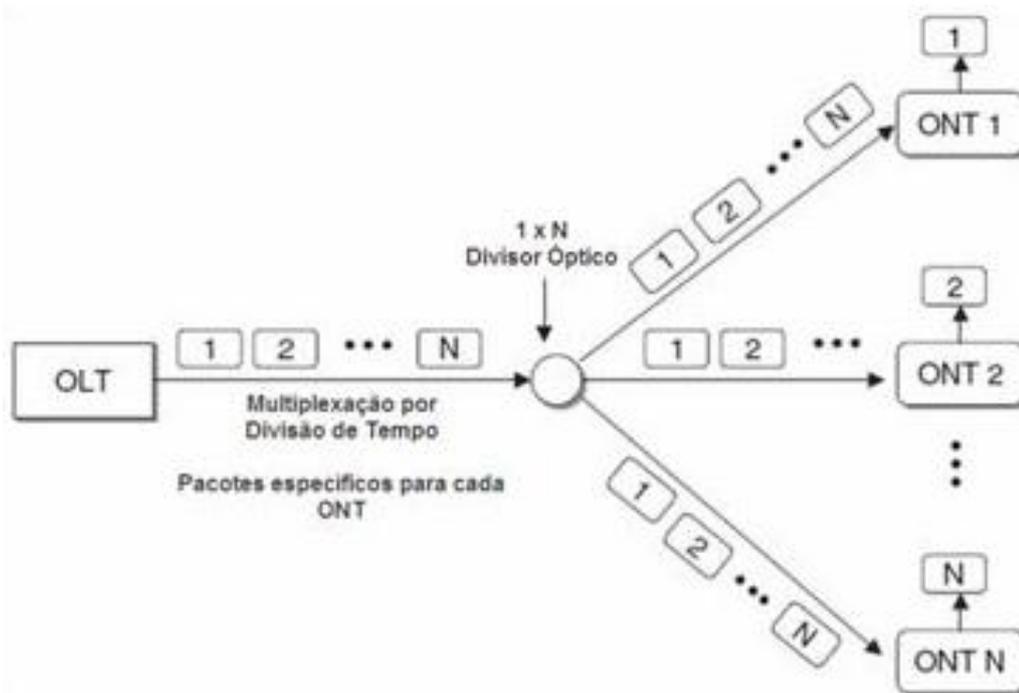


Figura 13 – Multiplexação dos comprimentos de onda em TDMA

Fonte: KEISER, 2006

2.3.1 Arquitetura PON

Há muitas topologias que podem ser aplicadas a uma Rede Óptica de Acesso como: Topologia em Barra, Estrela, Anel e Árvore.

2.3.1.1 Topologia Barra

A Topologia em Barra provê uma conectividade ponto-multiponto entre OLT e ONU, mas qualquer falha no enlace principal causa a desconexão dos usuários (OLIVEIRA, 2010).

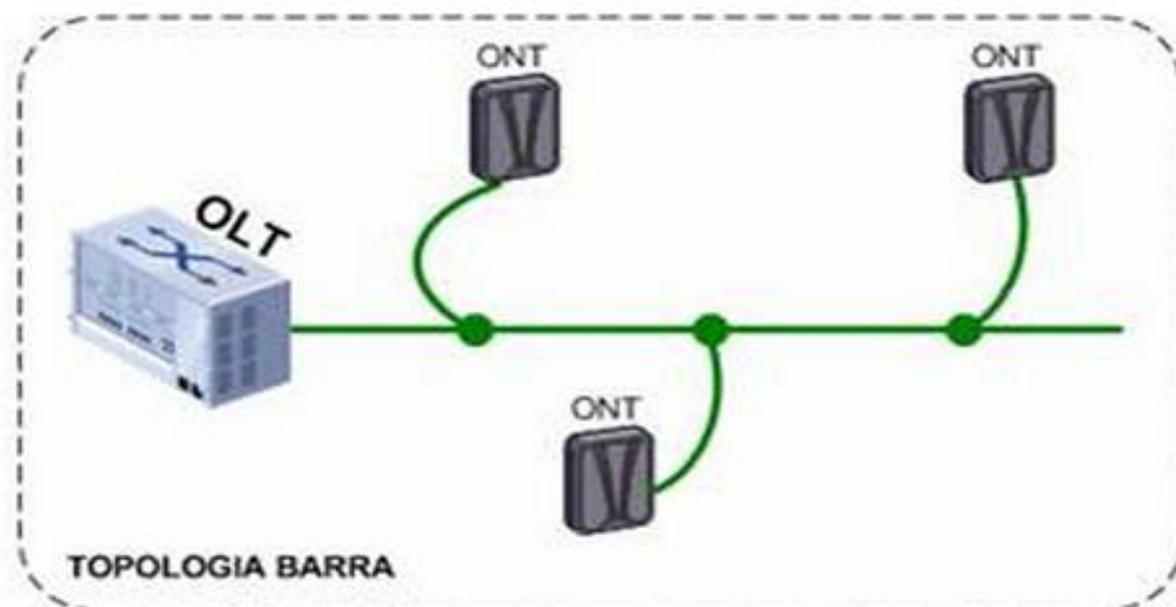


Figura 14 – Topologia em barra

Fonte: OLIVEIRA, 2010

2.3.1.2 Topologia Estrela

A Topologia em Estrela provê uma conectividade ponto-a-ponto entre OLT e ONU. Esta topologia permite entrega de banda dedicada de altas taxas aos usuários finais e também possui um baixo custo em operação, administração e manutenção (OLIVEIRA, 2010).

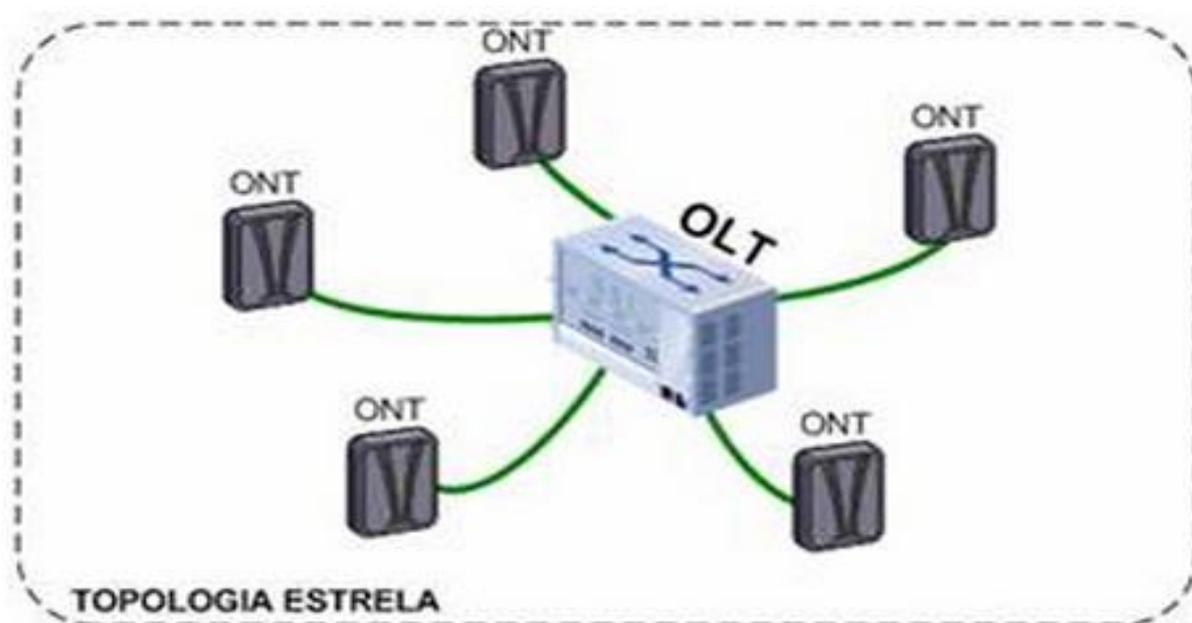


Figura 15 – Topologia em estrela

Fonte: OLIVEIRA, 2010

2.3.1.3 Topologia Anel

A Topologia em Anel oferece a vantagem ponto-multiponto da OLT para a ONU. Permite facilmente implementação de mecanismos de proteção – enlace com redundância – mas possui dificuldades para administração e manutenção (OLIVEIRA, 2010).

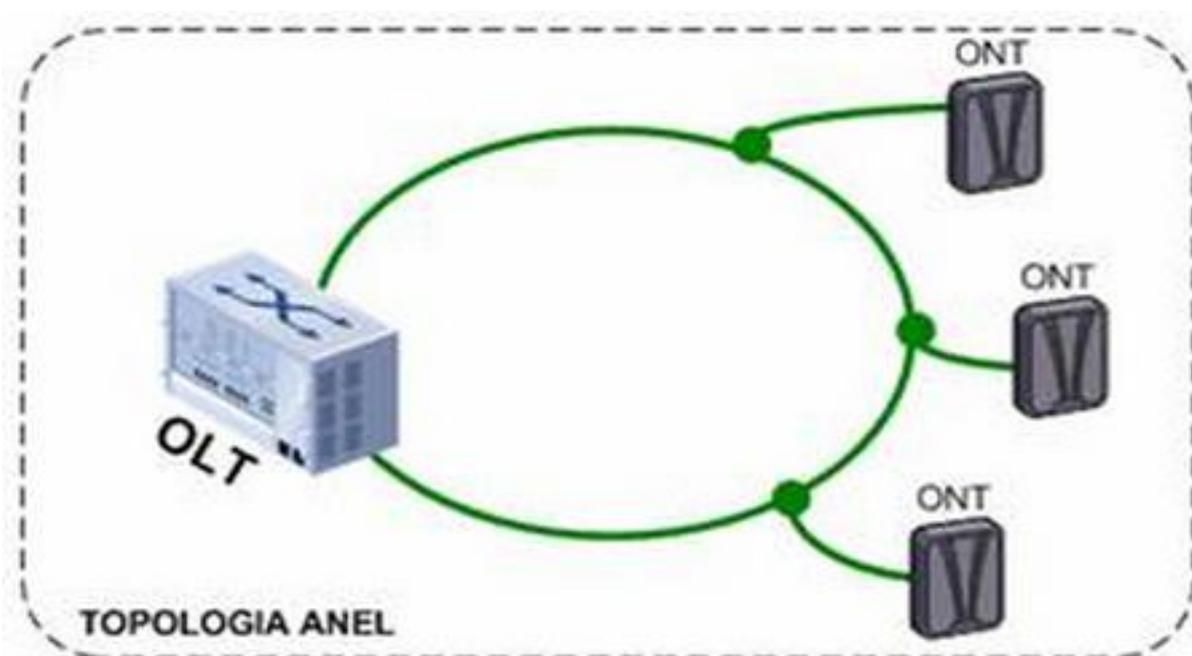


Figura 16 – Topologia em anel

Fonte: OLIVEIRA, 2010

2.3.1.4 Topologia Árvore

Topologia em Árvore é uma arquitetura ponto-multiponto que oferece a vantagem de infra-estrutura compartilhada entre todos os usuários, possuindo assim uma importante redução nos custos de implementação e manutenção na rede de acesso. Esta arquitetura é uma das mais difundidas nos estudos relacionados à Rede PON (OLIVEIRA, 2010).

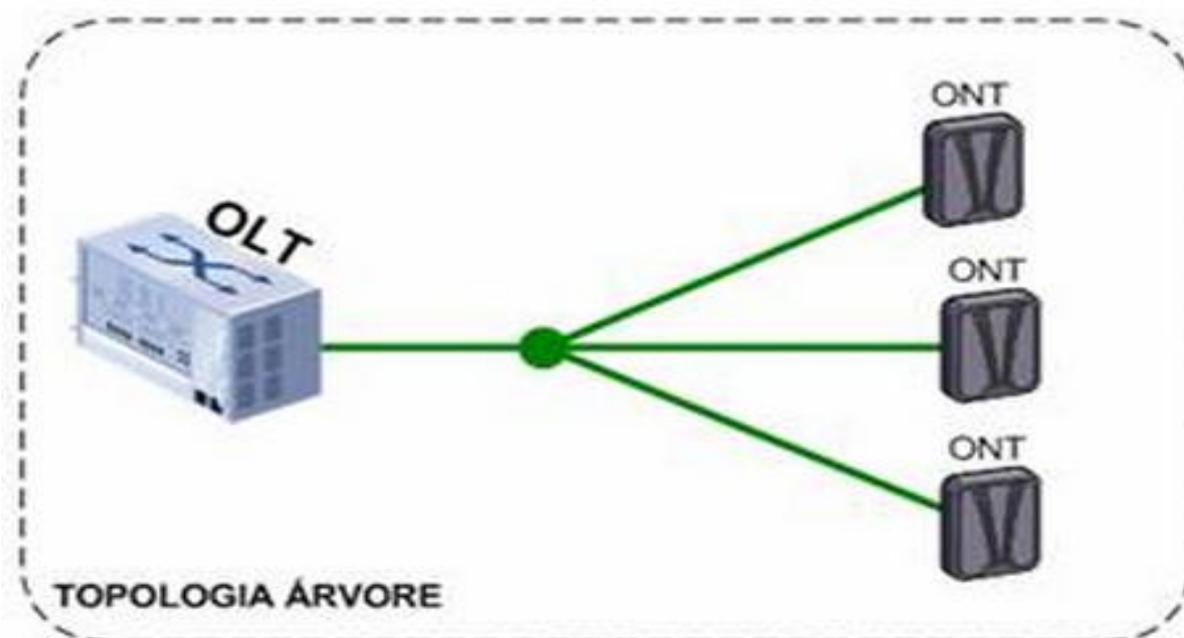


Figura 17 – Topologia em árvore

Fonte: OLIVEIRA, 2010

2.3.2 Tipos de Rede Óptica Passiva

2.3.2.1 APON – Rede Óptica Passiva Sobre Modo de Transferência Assíncrona

Até a década de 90, muitas redes PON foram desenvolvidas e testadas todas utilizando como conceito de multiplexação TDM, porém as taxas de transmissão que se utilizava para atender os serviços de telefonia e ISDN estavam inadequadas, visto a necessidade do transporte de dados. Assim o PON passou a ser baseado em Asynchronous Transfer Mode (ATM) conceituando o APON e cooperando para a unificação das Redes DSL (Digital Subscriber Line) (LIN, 2006).

A idéia do atendimento da última milha em uma rede óptica PON é disponibilizar todos os serviços por um único enlace com altas taxas, ou seja, um par de fibras leva a informação até próximo do cliente (nos armários ou nos prédios) ou até o cliente. O atendimento final ao usuário atualmente realizado em Redes xDSL (x Digital Subscriber Line), a banda se limita à distância que o usuário se encontra da central de operações e a qualidade da instalação elétrica, visto que todos os elementos da rede são ativos. Assim quanto maior for a proximidade, mais largura de banda o mesmo poderá ter em sua rede de acesso (OLIVEIRA, 2010).

2.3.2.2 BPON – Rede Óptica Passiva Banda Larga

Após o APON, o desenvolvimento de novas tecnologias para o atendimento em altas taxas de bits para transferência de informações fez do BPON o próximo passo nas Redes Ópticas Passivas. Baseada no protocolo ATM a rede BPON é capaz de integrar dados, voz, serviços de vídeo a clientes empresariais e residenciais por uma única fibra, podendo realizar o atendimento final de acordo com as soluções FTTx (OLIVEIRA, 2010).

O primeiro padrão para o BPON segue norma ITU-T G983.1, que tem por padrão atender a taxas de 155 Mbit/s simétricos e 622/155 Mbit/s assimétrico sendo que para downstream 622 Mbit/s e 155 Mbit/s para upstream, após com a necessidade de se incluir um novo comprimento de onda para transmissão de vídeo, estudos da ITU aprovaram a norma ITU-T G983.3, onde a capacidade de link foi estendida para 622 Mbit/s simétricos e 1244/622 Mbit/s assimétrico assim teve-se a oportunidade de utilizar o PON para atendimento em ultima estância para VDSL (KEISER, 2006).

2.3.2.3 EPON – Rede Óptica Passiva Sobre Ethernet

Em novembro de 2000, um grupo de empresas com o objetivo de padronizar a Ethernet PON no IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers – Instituto de Engenharia Elétrica e de Eletrônica), formaram um grupo de estudo para desenvolver um padrão que aplicasse o estudo em uma rede de acesso (OLIVEIRA, 2010).

O EPON surgiu da idéia que a tecnologia APON era imprópria para devido uso devido a sua falta de capacidade de transmissão de vídeo, banda insuficiente, complexidade e custo. O rápido desenvolvimento do Ethernet fez as taxas de transmissão alcançarem os Gbit/s e a conversão entre os protocolos ATM para IP, foram necessárias. As principais soluções de atendimento, para as quais se aplica o EPON, são: FTTB, FTTC tendo por objetivo em longo prazo a substituição para FTTH para entrega de serviços de dados, voz e vídeo em cima de uma única plataforma com largura de banda maior que o APON (KEISER, 2006).

A EPON provê taxas de 1 Gbit/s nos dois sentidos usando o comprimento de onda 1490 nm para downstream e 1310 nm para upstream. O comprimento de onda

1550 nm é reservado para serviços adicionais, como o broadcast de vídeo analógico. Considerando que a cada OLT se conectam, tipicamente, 16 ou 32 ONUs, a largura de banda média para cada usuário seria em torno de 60 ou 30 Mbit/s, respectivamente (FERREIRA, 2011).

2.3.2.4 GPON – Rede Óptica Passiva Gigabit

A Rede Óptica Passiva Gigabit tem por capacidade transmitir maiores velocidades de banda nas redes de acesso. Surgiu para superar o BPON e EPON, com a idéia principal de transmitir comprimentos de pacotes variáveis a taxa de gigabit por segundo, para isso o grupo FSAN reuniu esforços e em abril de 2001 começou a desenvolver novas padronizações, sendo posteriormente aprovadas e publicadas pela ITU-T na série de recomendações para aplicação de um GPON, sendo os padrões G984.1 a G984.4, publicados no primeiro semestre de 2008. O tráfego de informações downstream é transmitido em modo broadcasting, ou seja, a informação é transmitida a todos os elementos da rede. A mesma informação chega a todos os usuários por isso é necessário se utilizar um sistema de criptografia das informações para manter privacidade na comunicação (OLIVEIRA, 2010).

As taxas nominais são especificadas como 1.25 Gbit/s e 2.5 Gbit/s para downstream e 155 Mbit/s, 622 Mbit/s, 1.25 Gbit/s, e 2.5 Gbit/s para upstream. A recomendação também especifica distância máxima para transmissão de 10 a 20 km, que pode ser afetada pela qualidade e capacidade dos transmissores e receptores ópticos. Para um GPON o número de divisões chega a 64 no divisor óptico e mantém muita das mesmas funcionalidades de EPON e BPON como a atribuição de largura de banda dinâmica (DBA – G983.4), e o uso de operações, administração e manutenção de mensagens (KEISER, 2006).

2.4 TIPOS DE ACESSO VIA FIBRA ÓPTICA

A aplicação de tecnologia PON nas redes de acesso a residências e empresas é denominada FTTx (onde o x pode ser B (Building) – Prédio, C (Cabinet) – Armário, H (Home) – Casa, N (Node) – Nó. As soluções estão mudando constantemente e cada vez mais exclusivas para o atendimento aos clientes com uma maior largura de banda.

2.4.1 FTTN – Fibra até o Nó

Refere-se a uma arquitetura de atendimento PON em que as ONTs se distanciam a aproximadamente 1 km (quilometro) do usuário final. Normalmente instaladas em um distribuidor intermediário (Armário) disponibilizam o serviço ao usuário por meio de cabos coaxiais, cabos metálicos, fibra óptica ou algum outro meio para a transmissão das informações (OLIVEIRA, 2010).

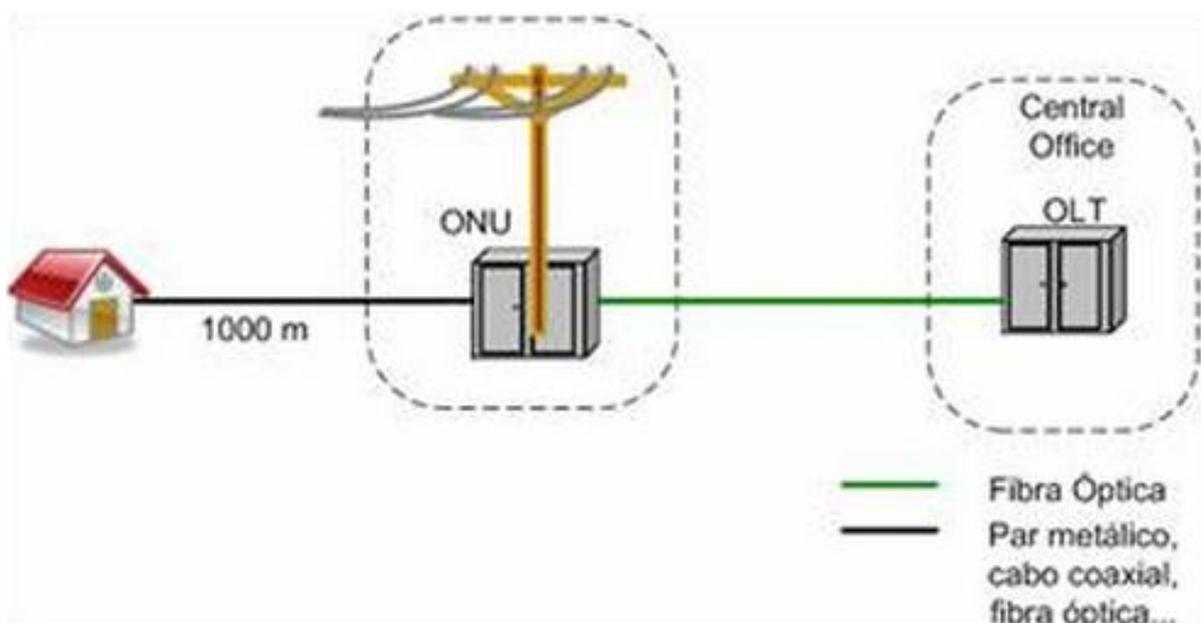


Figura 18 – Solução FTTN

Fonte: OLIVEIRA, 2010

2.4.2 FTTC – Fibra até o Armário

É realizado o atendimento até um distribuidor intermediário (exemplo: uma caixa outdoor instalada no auto de um poste de energia na rua) e a partir do mesmo é realizado o atendimento a um edifício ou residência se utilizando de cabos coaxiais, cabos metálicos, fibra óptica ou algum outro meio para a transmissão das informações. Muito similar ao FTTN, mas à distância da ONU ao usuário final não deve ultrapassar 300 metros de distância. Este equipamento deve possuir elementos robustos que suportem grandes variações de temperatura e demais intempéries

climáticas no meio em que for instalado, visto que pode haver uma dificuldade com a refrigeração do mesmo, devido as suas instalações (OLIVEIRA, 2010).

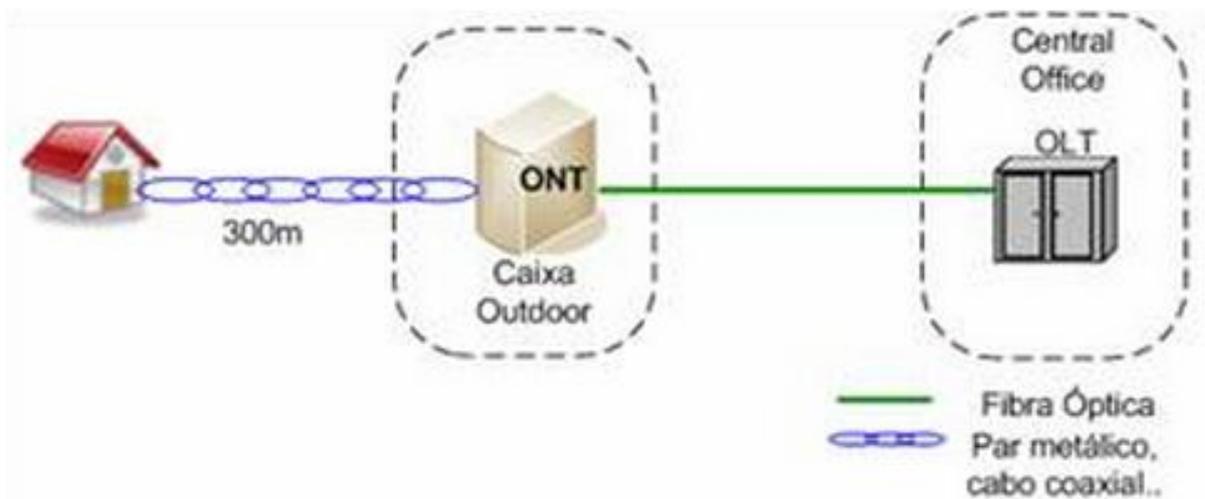


Figura 19 – Solução FTTC

Fonte: OLIVEIRA, 2010

2.4.3 FTTB – Fibra até o Prédio

Esta solução permite a implantação de uma fibra óptica ponto-a-ponto e ponto-multiponto. Na sala apropriada do estabelecimento a ser atendido por FTTB é instalada uma ONT que é conectada a um switch para a distribuição dos serviços aos diversos andares de forma que as conexões entre o switch e equipamento do cliente podem ter terminações óptico – óptico ou óptico – elétrico. Normalmente o atendimento interno a partir do switch é através de uma rede metálica de cabeamento estruturado, onde se tem a aplicação mais comum de tecnologias ADSL2+, VDSL2, 10/100Base-T (OLIVEIRA, 2010).

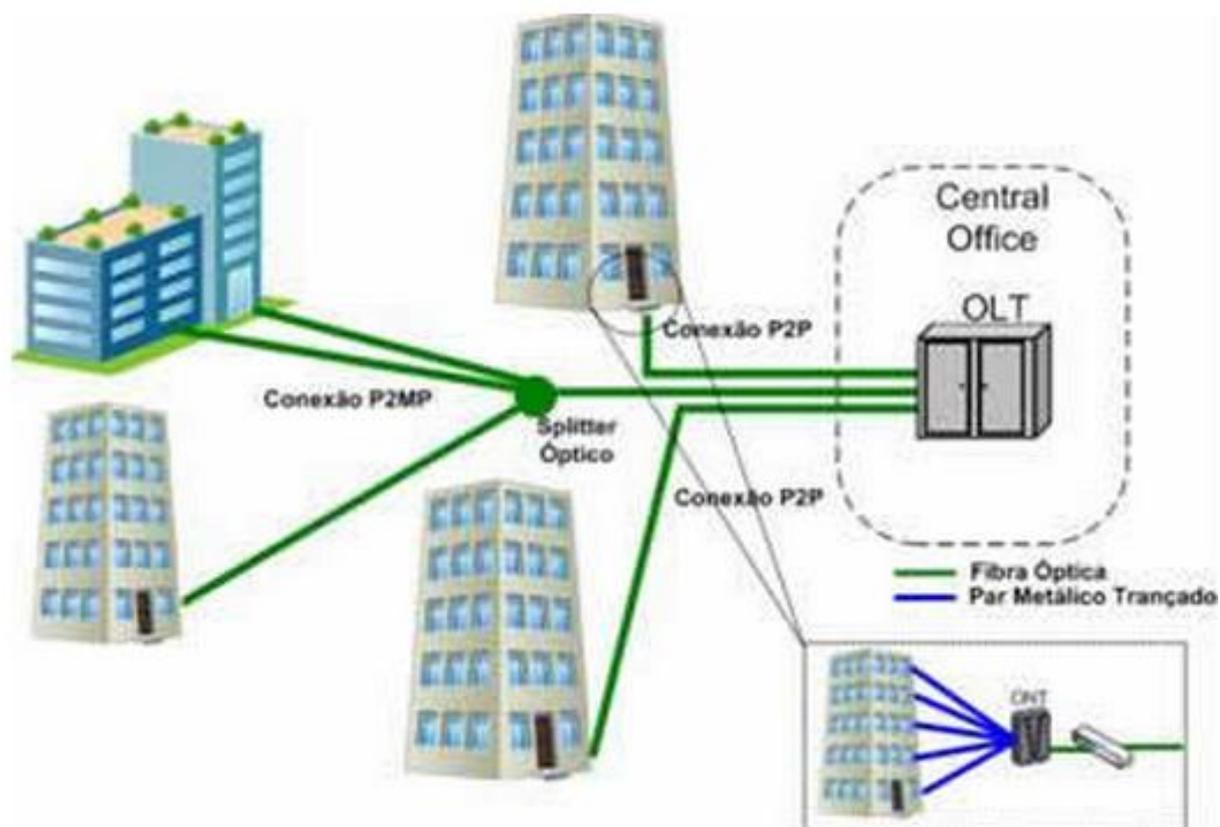


Figura 20 – Solução FTTB

Fonte: OLIVEIRA, 2010

2.4.4 FTTH – Fibra até a Casa

Uma fibra óptica é instalada diretamente da Central (OLT) até a Residência do Cliente (ONU). Este atendimento é o que gera maior custo para os prestadores de serviços, pois um novo cabeamento é realizado por ser atendimento óptico e não elétrico - nenhuma estrutura da rede metálica existente é utilizada (OLIVEIRA, 2010).

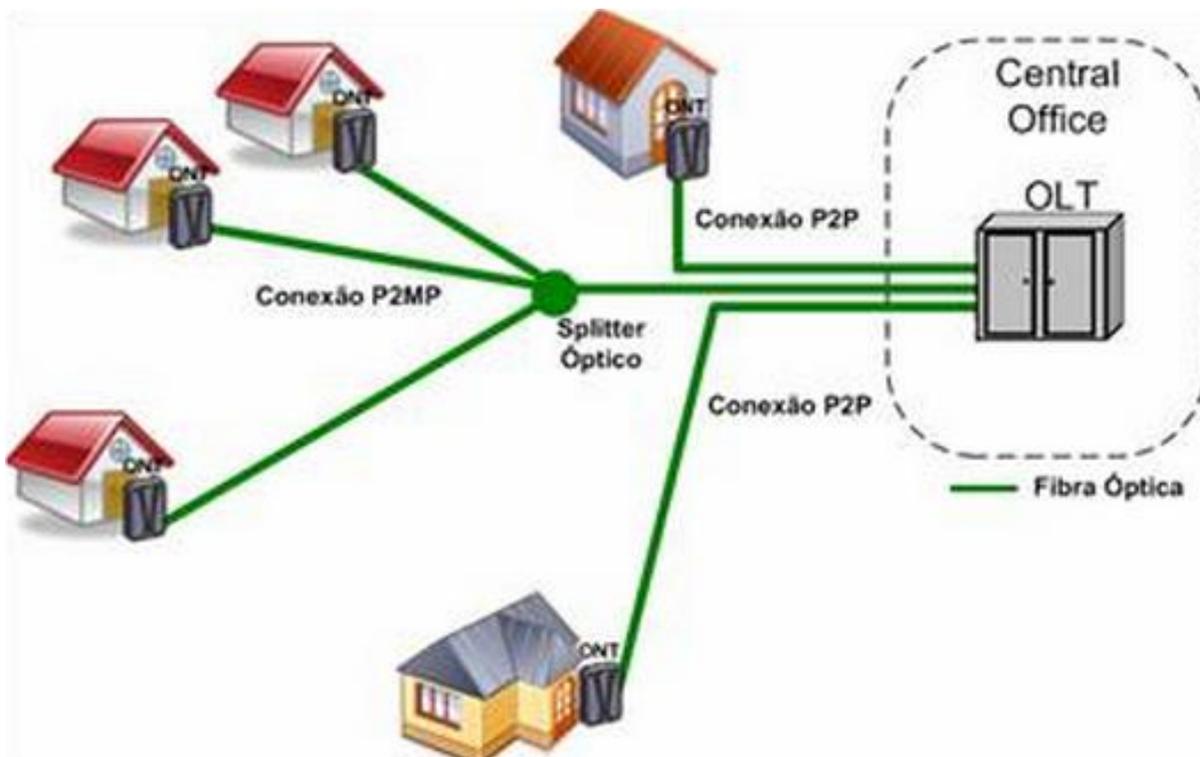


Figura 21 – Solução FTTH

Fonte: OLIVEIRA, 2010

3 ESTUDO DE CASO – CIDADE DIGITAL DE SÃO JOSÉ

Este capítulo estuda e expõe algumas condições práticas na implantação de uma rede de acesso via fibra óptica. O estudo foi baseado em uma avaliação do projeto da Cidade Digital do Município de São José – SC.

3.1 OBJETIVOS

A implantação da Cidade Digital de São José tem o intuito de prestar serviços de conectividade de rede IP, permitindo interligar as localidades municipais e conectá-las a rede pública (internet).

Com a interligação via fibra óptica das localidades municipais de São José, o município pretende integrar toda a rede de ensino municipal, com possibilidade de acompanhamento de desempenho dos alunos por pais, estudantes, corpo docente e pela administração pública, bem como integrar todos os serviços de saúde com prontuários eletrônicos, agendamento remoto de consultas, acesso digital a exames, controle de almoxarifado e farmácia, além de implantar uma plataforma de gestão de informações.

3.2 ESTRATÉGIAS DE PLANEJAMENTO

O projeto visa interligar as localidades municipais de São José utilizando tecnologia Gigabit Ethernet PON, aplicando a configuração FTTH. O dimensionamento da rede visa atender a área de abrangência das 112 localidades da prefeitura de São José. Assim, para este projeto será usado um cabo de fibra óptica que sai da OLT até as dependências de cada prédio da prefeitura, onde cada um terá uma ONU. Lembrando que neste enlace o comprimento da fibra utilizada deve manter-se até 20 km entre OLT e ONU.

Cada prédio da prefeitura deve possuir uma estrutura que comporte a instalação da ONU, incluindo fornecimento de energia para o equipamento, caixas de passagens e tubulações adequadas. No percurso do enlace serão usados outros elementos como: fibra óptica, conectores, divisores ópticos e caixas de emendas que devem ser dimensionadas no projeto.

Com o uso do software Google Earth foi realizado o mapeamento das 112 localidades (ponto amarelo) que serão interligadas via fibra óptica (caminho vermelho) através de 3 Pontos de Presença (triangulo branco), conforme a figura 22.

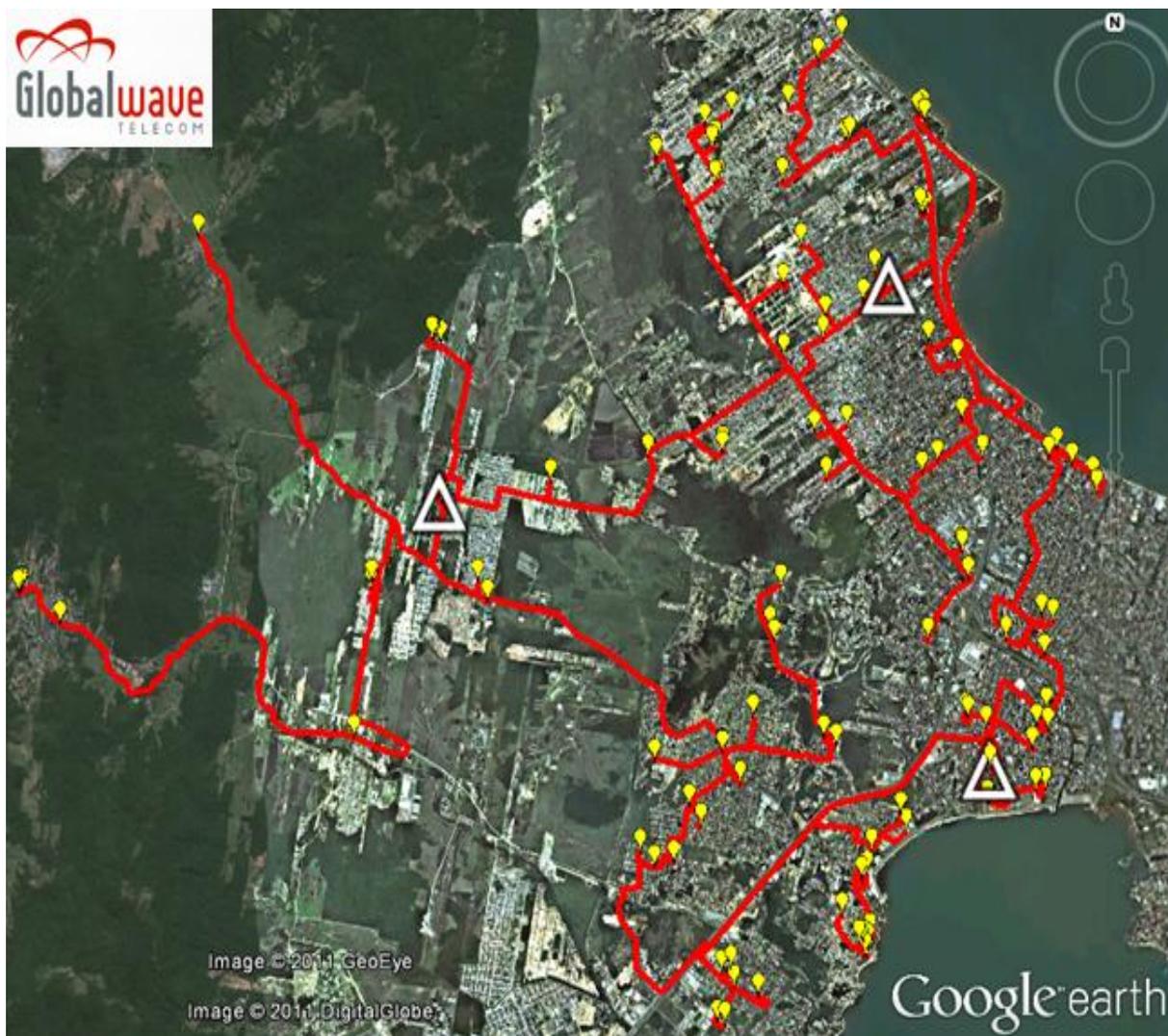


Figura 22 – Mapeamento das localidades

3.3 DIMENSIONAMENTO DO PROJETO

Neste projeto, é importante considerar a estrutura da rede e os equipamentos utilizados. No conceito de rede óptica passiva, os produtos de distribuição como cabos, adaptadores, divisores, conectores, equipamentos de transmissão e recepção óptica foram fornecidos pela empresa Furukawa Eletric, que atua nos principais mercados mundiais com tecnologias de última geração para soluções em

fibras ópticas e é um dos maiores fabricantes mundiais de fibras, inclusive detendo patentes de fibras utilizadas em redes de alta velocidade.

A facilidade para construir, expandir, implementar atuais e futuros serviços, bem como privacidade e confiabilidade, são características que devem ser levadas em conta para o dimensionamento dos equipamentos que compõe um projeto de rede óptica. Os equipamentos dimensionados neste projeto atendem a demanda atual de largura de banda que a prefeitura exigiu, que é de 6 Mbit/s para secretárias e 4 Mbit/s para as demais localidades, além de prever uma reserva técnica de 6 vezes a atual largura de banda, ficando em 36 Mbit/s para secretárias e 24 Mbit/s para as demais localidades.

3.4 ESTRUTURA DA REDE

3.4.1 POP – Ponto de Presença

O Ponto de Presença é um armário de telecomunicações externo, é nos POP's que ficam os equipamentos ativos da rede óptica, seus componentes básicos são um chassi GEAPON, onde estão conectados os cartões OLT, um distribuidor interno óptico para acomodação das fibras, um switch para gestão da rede, além de um nobreak para garantir alimentação em caso de falta de energia.



Figura 23 – Armário de telecomunicações externo

Neste projeto foi previsto 3 POP's, sendo que cada POP utilizará 2 cartões OLT em um chassi GEAPON. Os POP's estão interligados por um backbone óptico na topologia anel, utilizado um cabo de 24 fibras ópticas.

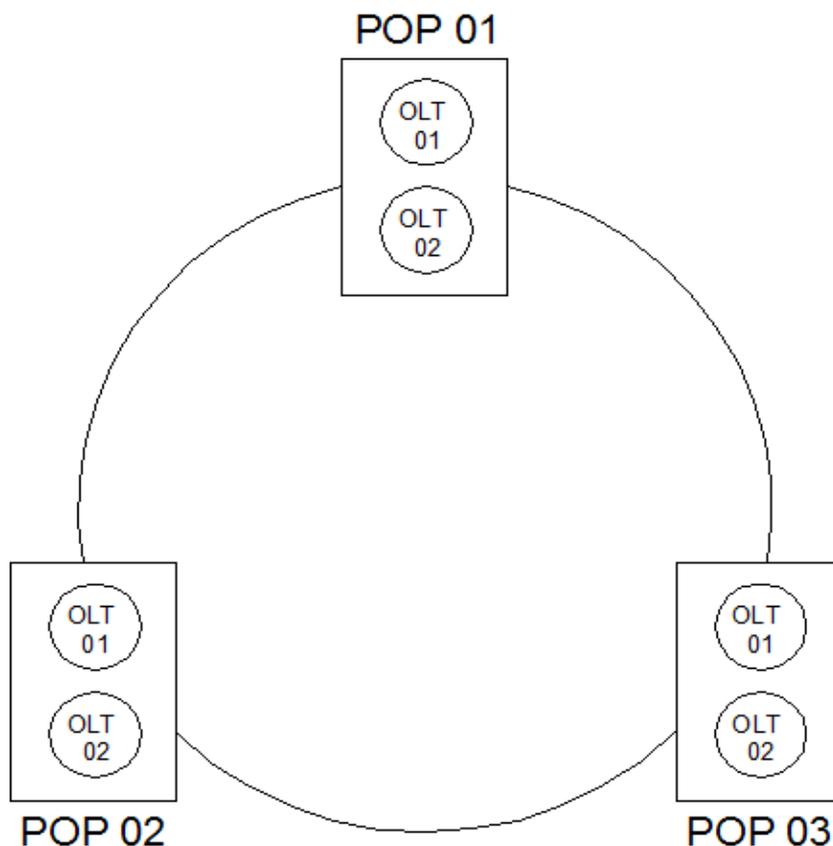


Figura 24 – Interligação dos POP's na topologia anel

3.4.2 OLT – Optical Line Terminator

A OLT tem a funcionalidade de concentrador no cenário GEAPON, com uma taxa de dados 1,25 Gbit/s bidirecional. Cada placa OLT conecta-se ao switch enquanto que cada porta óptica pode ser dividida utilizando divisores ópticos de 1x2 até 1x64, que são conectada na porta da ONU localizada na localidade da prefeitura.

O hardware completo GEAPON CHASSIS FK16 compreende: um chassi, uma placa de gerência, duas fontes redundantes e 16 cartões OLT.



Figura 25 – Chassi GEAPON com 16 cartões OLT

3.4.3 ONU – Optical Network Unit

A ONU recebe e envia os pacotes IP do/para o concentrador OLT, conectando a localidade da prefeitura a rede de dados via fibra óptica. A ONU contém duas portas RJ45 fêmeas, sendo a porta 0 Gigabit Ethernet 10/100/1000 Mbps e a porta 1 Fast Ethernet 10/100Mbps.



Figura 26 – Optical Network Unit

3.4.4 Rede Passiva

A rede óptica passiva compreende os cabos de fibra óptica que interligam a OLT nas ONU's, distribuidor interno óptico, divisor óptico passivo, caixa de emenda, cordão e extensão óptica.

3.4.4.1 Cabo de Fibra Óptica

Existem vários tipos de cabos e acessórios ópticos, a norma de projeto estruturado EIA/TIA-568-A recomenda a utilização de tipos específicos de cabos ópticos para redes locais, além de especificar os valores dos principais parâmetros que envolvem estes cabos e conectores. Neste projeto, foram usados cabos de fibra óptica monomodo de núcleo 8,5/125 nm, que atendem as especificações técnicas que a norma recomenda.

Foi definido 3 tipos de cabos para o atendimento:

- Cabo 24 fibras ópticas – Backbone: foi utilizado cabo óptico auto-sustentado para vão de 80 metros, com nomenclatura CFOA-SM-AS80-S 24F. Este cabo óptico é usado na interligação dos 3 Pontos de Presença.
- Cabo 12 fibras ópticas – Backhaul: foi utilizado cabo óptico auto-sustentado para vão de 80 metros, com nomenclatura CFOA-SM-AS80 MINI-RA FTTH 12F. Este cabo óptico é usado na interligação do Backbone a Rede de Acesso.
- Cabo 2 fibras ópticas – Rede de Acesso: foi utilizado cabo óptico auto-sustentado para vão de 80 metros, com nomenclatura CFOA-SM-AS80 MINI-RA FTTH 02F. Este cabo óptico interliga a localidade ao Backhaul, que por sua vez está interligado ao Backbone.

Os três tipos cabos ópticos utilizados são produzidos pela Furukawa, são totalmente dielétrico, o núcleo é preenchido com geleia para evitar a penetração de umidade e as fibras revestidas em acrilato.

3.4.4.2 Distribuidor Interno Óptico

O Distribuidor Interno Óptico é uma bandeja para acomodação das fibras ópticas que permite melhor flexibilidade e manobra dos cabos ópticos dentro dos armários de telecomunicações.

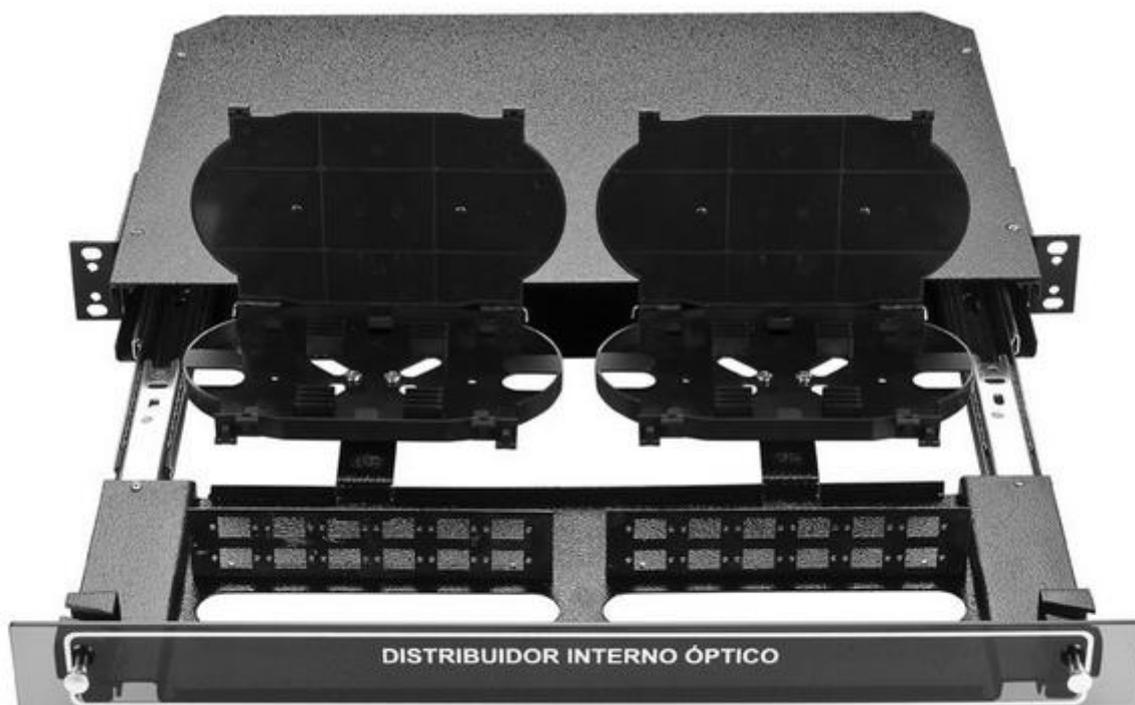


Figura 27 – Distribuidor interno óptico

3.4.4.3 Divisor Óptico Passivo

Os divisores ópticos passivos recebem o sinal de luz e o ramificam em 2 ou mais fibras de saída. Existem divisores ópticos passivos que ramificam a fibra em 2, 4, 8, 16, 32 e 64 fibras ópticas, porém neste projeto foram usados apenas 1x2, 1x4 e 1x8, que foram utilizados nos POP's e nas caixas de emendas.



Figura 28 – Divisor óptico passivo

3.4.4.4 Caixa de Emenda

Para a continuidade e ampliação de um enlace o uso de emenda óptica é essencial, as emendas ópticas são acomodadas dentro da caixa de emenda, juntamente com os divisores ópticos passivos.



Figura 29 – Caixa de emenda externa

Já nas localidades da prefeitura foi usada caixas de emendas internas, para acomodar a emenda feita entre a fibra que vem da rede externa e o extensor óptico.

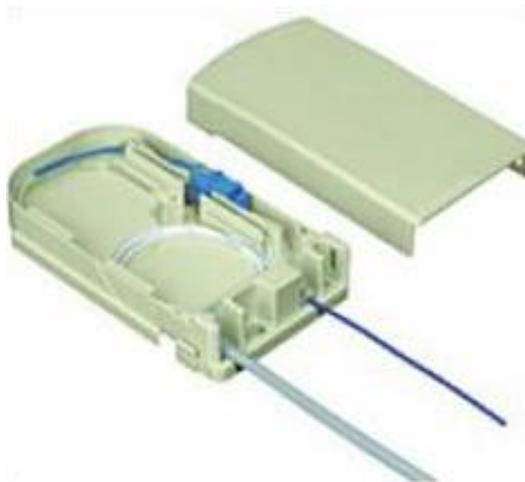


Figura 30 – Caixa de emenda interna

3.4.4.5 Cordão e Extensão Óptica

Os cordões ópticos são utilizados para manobra dentro do armário de telecomunicações entre a OLT e o distribuidor interno óptico, também são usados para manobra entre a ONU e a extensão óptica.

Já a extensão óptica é usada para fazer a fusão com a fibra que vem da rede externa e interligar ao cordão óptico que é conectado na ONU.

Neste projeto foi utilizado cordão óptico com conector SC-APC e extensão óptica com conector SC-APC.



Figura 31 – Cordão óptico



Figura 32 – Extensão óptica

3.5 CÁLCULO DA LARGURA DE BANDA

Com base nos cálculos de largura de banda, foi comprovado que os equipamentos dimensionados neste projeto atendem a demanda atual que a prefeitura exigiu, que é de 6 Mbit/s para secretárias e 4 Mbit/s para as demais localidades. Ainda com a base de cálculos, foi comprovado que a reserva técnica prevista que é 6 vezes a atual largura de banda, ficando em 36 Mbit/s para secretárias e 24 Mbit/s para as demais localidades, também são atendidas com os equipamentos dimensionamentos no projeto.

Para base de cálculo de banda, foi considerada a largura de banda da OLT que é de 1,25 Gbit/s, dividindo pelo número de localidades atendida por cada OLT, partindo do pressuposto que todas as localidades estarão conectadas a OLT pelas suas respectivas ONU's.

Conforme a Tabela 1 foi constatado que a largura de banda por localidade é bem superior a atual largura de banda e também a banda prevista como reserva técnica.

		ONU's	Largura de Banda por Localidade
POP 01	OLT 01	21	59,52 Mbit/s
	OLT 02	20	62,5 Mbit/s
POP 02	OLT 01	20	62,5 Mbit/s
	OLT 02	21	59,52 Mbit/s
POP 03	OLT 01	15	83,33 Mbit/s
	OLT 02	15	83,33 Mbit/s

Tabela 1 – Largura de banda por localidade

Considerando a menor largura de banda por localidade, que ficou em 59,52 Mbit/s na OLT 01 do POP 01 e na OLT 02 do POP 02, é possível atender basicamente todos os serviços disponíveis e em lançamento envolvendo voz, dados e vídeo.

Foi realizado um calculo para demanda futura de tráfego baseado na banda requerida para alguns serviços envolvendo voz, dados e vídeo. Com uma largura de

banda de 59,52 Mbit/s é possível atender navegação web, telefonia Voip, vídeo vigilância, mais 7 canais HDTV, conforme demonstrado na Tabela 2.

APLICAÇÃO	BANDA REQUERIDA
Navegação Web	10 Mbit/s
Telefonia (VoIP)	0,5 Mbit/s
Vídeo Vigilância	1 Mbit/s
7 Canais de Tv Alta Definição (HDTV)	45,5 Mbit/s
TOTAL	57 Mbit/s

Tabela 2 – Demanda futura de trafego

3.6 DIAGRAMA DE REDE

A seguir seguem os diagramas lógicos de rede, contemplando a distribuição dos divisores ópticos passivos de cada POP.

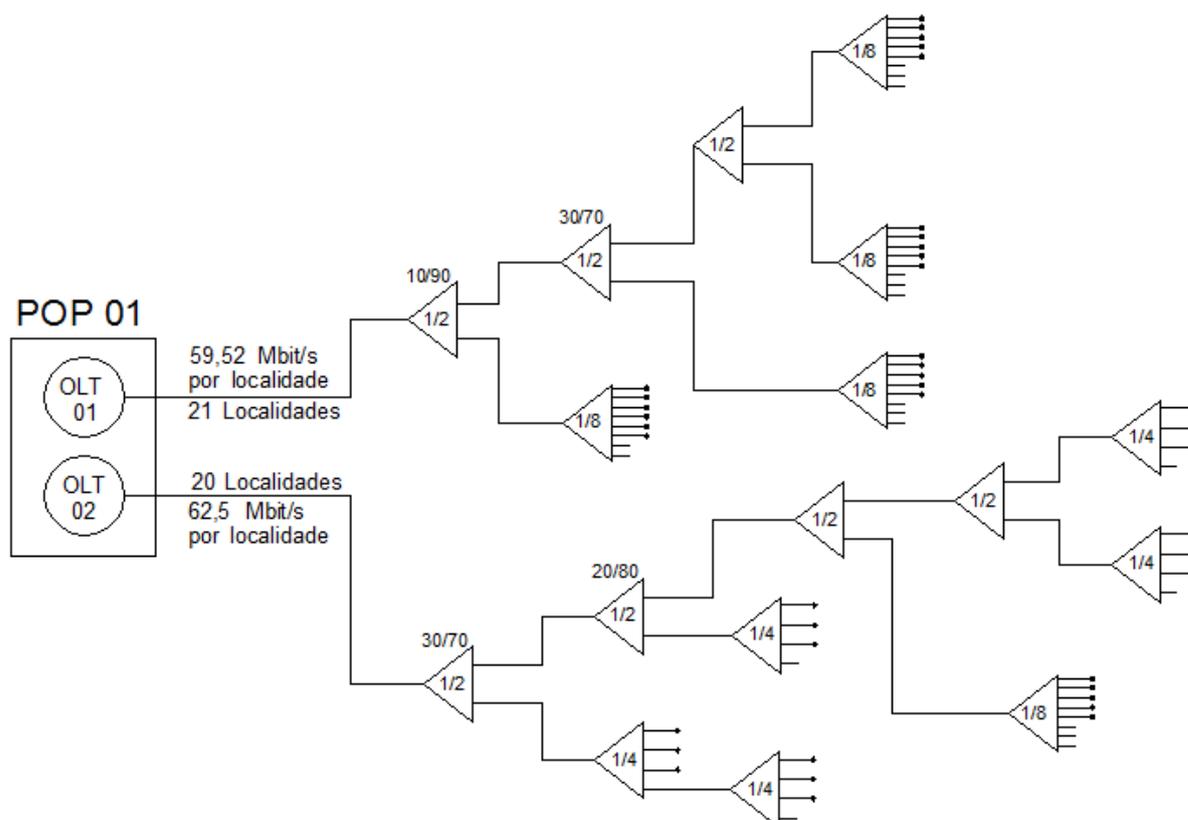


Figura 33 – Distribuição dos divisores ópticos do POP 01

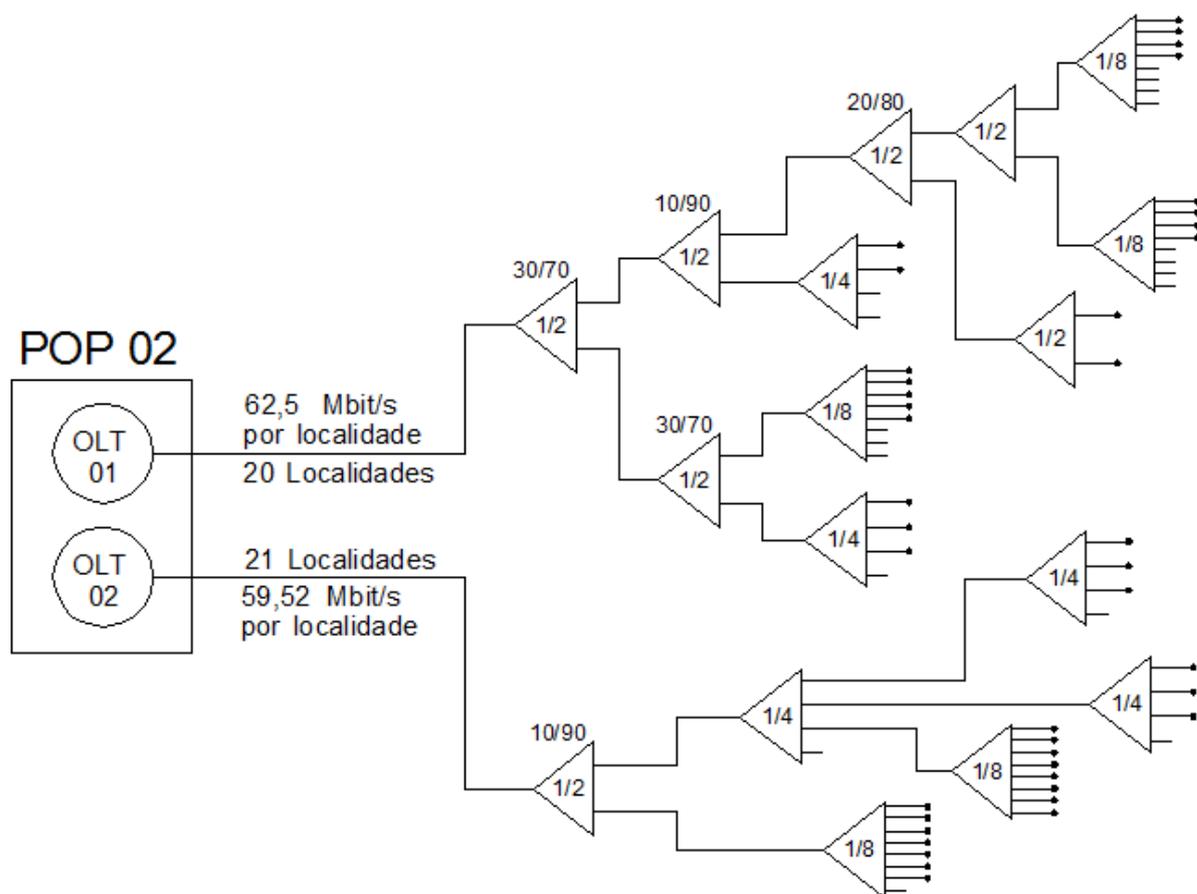


Figura 34 – Distribuição dos divisores ópticos do POP 02

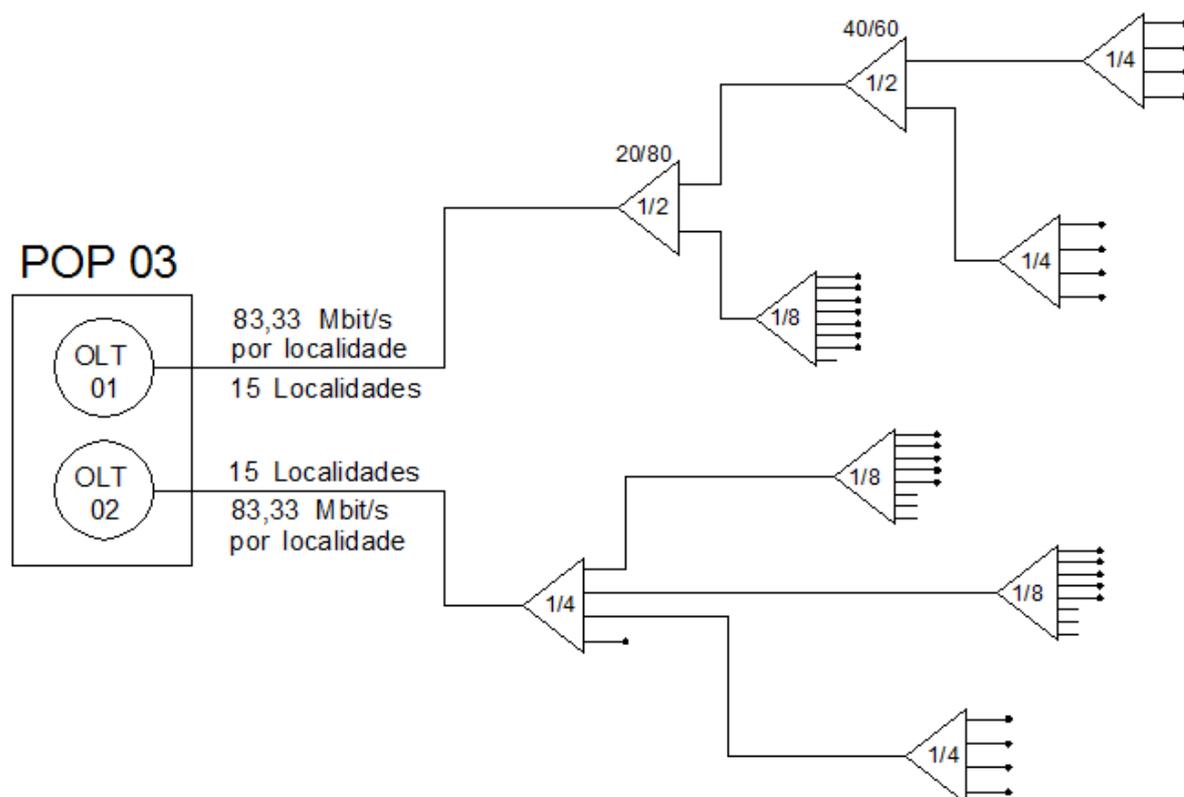


Figura 35 – Distribuição dos divisores ópticos do POP 03

A seguir segue diagrama físico da rede, onde está mapeado as 112 localidades da prefeitura (ponto amarelo), os 3 POP's (triângulo branco) que são interligado pelo backbone óptico (caminho vermelho), os backhauls (caminho azul) e as redes de acesso (caminho verde), além das caixas de emendas externas (quadrado branco).

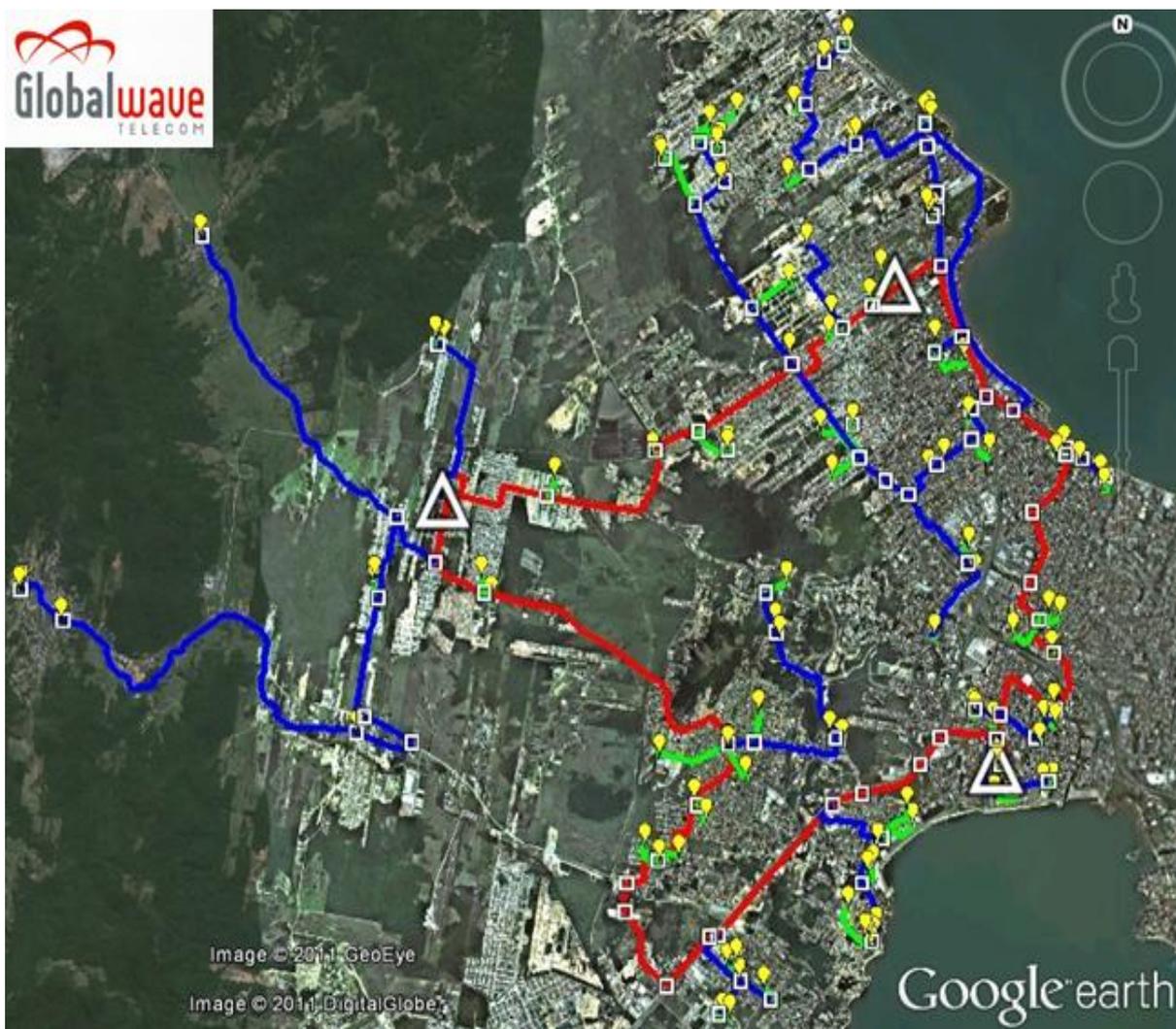


Figura 36 – Diagrama físico da rede

3.7 ATENUAÇÃO DO ENLACE ÓPTICO

Para garantir a largura de banda calculada para cada localidade, é necessário calcular a atenuação do enlace óptico. O sinal no receptor óptico deverá estar dentro das limitações do equipamento e de acordo com a atenuação esperada na rede.

Considerando as principais perdas previstas no cálculo de potência a margem desejada é de 3 dB.

As maiores perdas no enlace óptico ocorrem na inserção dos divisores ópticos, que podem ser balanceados ou desbalanceados. Os únicos divisores ópticos desbalanceados são os de 1x2, onde a potencia do sinal pode ser dividida na escala 10/90, 20/80, 30/70 e 40/60, onde eu tenho uma perda menor da potencia do sinal na porta 1 do divisor óptico e uma perda maior na porta 2, conforme exemplificado na Tabela 4.

ESPECIFICAÇÃO	MODELO				
	1x2 Balanceado	1x4	1x8	1x16	1x32
Banda Óptica Passante	1260~1360nm y 1480~1580nm				
Perda de Inserção Máxima	3,7 dB	7,3 dB	10,5 dB	13,7 dB	17,1 dB

Tabela 3 – Perdas por divisores ópticos balanceado

ESPECIFICAÇÃO	MODELO			
	1x2	1x2	1x2	1x2
	Desbalanceado 10/90	Desbalanceado 20/80	Desbalanceado 30/70	Desbalanceado 40/60
Banda Óptica Passante	1260~1360nm y 1480~1580nm			
Perda de Inserção Máxima Porta 1	0,7 dB	1,4 dB	1,9 dB	2,7 dB
Perda de Inserção Máxima Porta 2	11,0 dB	7,9 dB	6,0 dB	4,7 dB

Tabela 4 – Perdas por divisores ópticos desbalanceado

Além das perdas por divisores ópticos, também deve se considerar as perdas nos equipamentos transmissores e receptores, perdas nos conectores, perdas com o comprimento do enlace óptico e perdas com emendas, conforme a Tabela 5.

Perda no conector	0,3 dB
Perda na emenda	0,02 dB
Perda por comprimento do enlace	0,35 dB/Km
Cálculo de perda com equipamentos	Potência do Transmissor (A) = 5 dBm
	Sensibilidade do Receptor (B) = -27 dBm
	Perda suportada no enlace (A - B) = 32 dB

Tabela 5 – Perdas no enlace óptico

As perdas com os divisores ópticos, com equipamentos, com conectores e com o comprimento do enlace óptico são informadas pelos fabricantes, diferentemente da perda por emenda.

Existem dois tipos de emendas, a mecânica que tem uma atenuação entre 0,15 a 0,20 dB e a emenda por fusão que tem uma menor atenuação, ficando entre 0,02 a 0,1 dB. Para obter esses valores de atenuação, as emendas têm que ser bem realizadas pelos técnicos de campo.

Neste projeto todas as emendas foram feitas pelo método de fusão, na Figura 31 é visualizada a perda de 0,01 dB em uma emenda por fusão feita em campo.

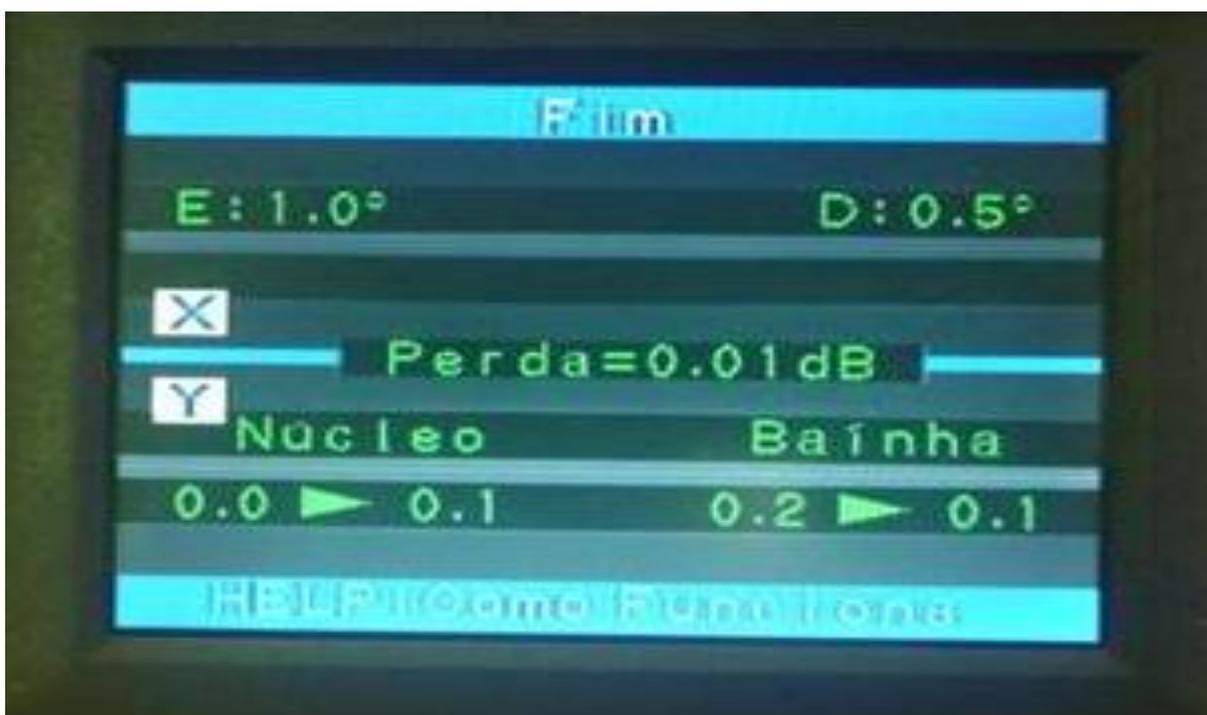


Figura 37 – Perda em emenda por fusão

Para exemplificar a atenuação do enlace óptico neste projeto, foi calculada a margem de desempenho da OLT 01 do POP 03, que atende 15 localidades da prefeitura. Conforme a Tabela 6 é visto que a margem de desempenho do sistema ficou entre 12,12 dB e 18,90 dB, margem esta bem acima dos 3 dB de potência prevista para que o sistema garanta a largura de banda calculada anteriormente, que é de 83,33 Mbit/s por localidade da OLT 01 do POP 03.

ACESSOS (OLT 01 - POP 03)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Cálculo da Perda no Comprimento do Link	Comprimento (Km)	2,040	2,100	2,120	2,010	0,040	1,570	1,510	5,160	2,575	2,505	4,880	9,690	10,345	10,350	10,360
	Perda (dB/Km)	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
	Perda Total (dB)	0,71	0,74	0,74	0,70	0,01	0,55	0,53	1,81	0,90	0,88	1,71	3,39	3,62	3,62	3,63
Cálculo da Perda no Conector	Perda (dB)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
	Número de Conectores	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Perda Total (dB)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Cálculo de Perda na Emenda	Perda por Emenda	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	Número de Emendas	7	7	7	7	6	8	8	11	11	11	14	15	16	16	16
	Perda Total (dB)	0,14	0,14	0,14	0,14	0,12	0,16	0,16	0,22	0,22	0,22	0,28	0,30	0,32	0,32	0,32
Atenuação dos Divisores Ópticos	Splitter 1/2 - 20/80	-	-	-	-	-	-	-	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
	Splitter 1/2 - 20/80	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	-	-	-	-	-	-	-	-
	Splitter 1/2 - 40/60	-	-	-	-	-	-	-	2,7	2,7	2,7	2,7	-	-	-	-
	Splitter 1/2 - 40/60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,7	4,7	4,7	4,7
	Splitter 1/4	-	-	-	-	-	-	-	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3
	Splitter 1/8	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	-	-	-	-	-	-	-	-
	Perda Total (dB)	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	11,4	11,4	11,4	11,4	13,4	13,4	13,4	13,4
Atenuação total do link óptico (dB)		19,85	19,88	19,88	19,84	19,13	19,71	19,69	14,03	13,12	13,10	13,99	17,69	17,94	17,94	17,95
Cálculo de Perda no Equipamento	Potência Média do Transmissor (A) dBm	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Sensitividade do Receptor (B) dBm	-27	-27	-27	-27	-27	-27	-27	-27	-27	-27	-27	-27	-27	-27	-27
	Perda Suportada no Enlace (A - B) dB	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
Cálculo da Margem de Desempenho do Sistema	Perdas Suportadas pelos Equipamentos (dB)	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
	Total de Atenuação no Link Óptico (dB)	19,85	19,88	19,88	19,84	19,13	19,71	19,69	14,03	13,12	13,10	13,99	17,69	17,94	17,94	17,95
	Margem de Desempenho do Sistema (dB)	12,15	12,13	12,12	12,16	12,87	12,29	12,31	17,97	18,88	18,90	18,01	14,31	14,06	14,06	14,05

Tabela 6 – Cálculo da margem de desempenho da OLT 01 do POP 03

4 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

A fibra óptica é um ótimo meio para transmissão de dados em alta velocidade, quando comparada com cabeamento metálico ela é muito superior e apresenta enormes vantagens, como baixa perda na transmissão além de não sofrer interferência eletromagnética, porém sua implantação para atendimento a usuários residenciais e pequenas empresas têm um alto custo quando comparado ao acesso via cabeamento metálico que já possui toda infra-estrutura instalada.

Com o crescente aumento do tráfego de dados, que cresce ano após ano, somado ao surgimento de novas aplicações que requerem uma maior largura de banda, como serviços triple play que combinam voz, dados e vídeo em um único canal de comunicação, é certo afirmar que dentro de alguns anos o futuro das redes cabeadas passará de metálica para fibra óptica.

Apesar de toda infra-estrutura de cabeamento metálico já instalado, a tendência é que aos poucos seja migrando para o uso da fibra óptica, que é uma rede a prova de futuro, devido a não serem utilizados todos os recursos permitidos com a utilização da fibra óptica como meio de transmissão, pois a fibra óptica já evoluiu e muito, agora toda a tecnologia está voltada aos equipamentos de ponta para aumentar ainda mais a taxa de dados transmitida via fibra óptica, além da facilidade de implantação, expansão e a mobilidade que é permitido pela rede óptica, o que não ocorre com a rede de cabeamento metálico, que tem uma grande dificuldade de mobilidade e expansão de sua atual rede.

Neste trabalho foi visto que a tecnologia Gigabit Ethernet PON permite o atendimento a longas distancias do Ponto de Presença, sem a necessidade de utilizar consumo de energia elétrica no trajeto do percurso, pois são utilizados apenas elementos passivos, apenas os equipamentos de transmissão e recepção necessitam de alimentação elétrica, o que permite reduzir custos de implantação e manutenção da rede óptica.

Com o uso da rede óptica Gigabit Ethernet PON juntamente com a configuração FTTH, mostra um atendimento diferenciado até a última milha com alta taxa de transmissões de dados. Apesar da rede de acesso via fibra óptica ser minoria em comparação a rede metálica que já está instalada há alguns anos, a tendência é que a rede de acesso via fibra óptica seja instalada com maior intensidade para suprir a necessidade dos clientes que cada vez mais estão querendo uma maior largura de banda para prover serviços de voz, dados e vídeo

em um único canal de comunicação, que pode ser feito com o uso da fibra óptica como meio de transmissão.

Neste trabalho foi apresentado um exemplo prático de uma rede de acesso utilizando a tecnologia Gigabit Ethernet PON com a configuração FTTH, permitindo chegando com a fibra óptica até as localidades da prefeitura municipal de São José, integrando toda a rede de ensino municipal, com possibilidade de acompanhamento de desempenho dos alunos por pais, estudantes, corpo docente e pela administração pública, bem como integrar todos os serviços de saúde com prontuários eletrônicos, agendamento remoto de consultas, acesso digital a exames, controle de almoxarifado e farmácia, além de implantar uma plataforma de gestão de informações. O trabalho foi realizado nessa linha de pensamento e os objetivos foram mostrar as tecnologias existentes e avaliar as vantagens de uma rede de acesso via fibra óptica.

REFERENCIAS

CAMPOS, André Luiz Gonçalves. **Fibras Ópticas** – Uma realidade reconhecida e aprovada. RNP, Rede Nacional de Ensino e Pesquisa – Boletim bimestral sobre tecnologia de redes – Volume 6, número 2. Publicado em: abr. 2002. Disponível em: <http://www.rnp.br/newsgen/0203/fibras_opticas.html>. Acesso em 10 out. 2011.

ERRIQUEZ, Paschoal; FILHO, Huber Bernal; FREITAS, Carlos Eduardo Almeida. **Redes WDM**. Teleco – Inteligencia em Telecomunicações – Seção: Tutorial. Publicado em: abr. 2004. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialrwdm/default.asp>>. Acesso em 13 out. 2011.

FERNANDES, Luiz Felipe de Camargo. **Conceitos Básicos de Fibra Óptica**. Teleco –Inteligencia em Telecomunicações – Seção: Tutorial. Publicado em: out. 2009. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialfoll/default.asp>>. Acesso em 13 out. 2011.

FILHO, Carmelo J. A. Bastos. **Sistemas de Comunicações Ópticas**. Escola Politécnica de Pernambuco – UPE. Publicado em: fev. 2010. Disponível em: <<http://www.dsc.upe.br/~cjabf/material/Cap%2010%20Comunicacoes%20opticas.pdf>>. Acesso em 23 out. 2011.

JUNIOR, Almir Wirth Lima. **Telecomunicações Modernas** – Curso Básico – 2ª ed. Ampliada. Rio de Janeiro: Book Express, 2001.

KEISER, Gerd. **Optical Fiber Communications**. 2 ed. New York: McGraw-Hill, 1991.

KEISER, Gerd. **FTTX concepts and applications** - John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2006.

LIMA, Cássio. **Introdução às Fibras Ópticas**. Clube do Hardware – Seção: Artigos. Publicado em: fev. 2002. Disponível em: <<http://www.clubedohardware.com.br/artigos/371>>. Acesso em 18 out. 2011.

LIN, Chinlon. **Broadband Optical Access Networks And Fiber To The Home** - John Wiley & Sons Ltd, 2006.

MORIMOTO, Carlos E. **Fibra Óptica**. Seção: Livros. Publicado em: abr. 2008. Disponível em: <<http://www.hardware.com.br/livros/redes/fibra-optica.html>>. Acesso em 22 out 2011.

OLIVEIRA, Patrícia Beneti. **Soluções de Atendimento em Fibra Óptica I e II**. Teleco – Inteligencia em Telecomunicações – Seção: Tutorial. Publicado em: nov. 2010. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialsolfo1/Default.asp>> e <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialsolfo2/Default.asp>>. Acesso em 11 out. 2011.

PEREIRA, Rafael José Gonçalves. **Fibras Ópticas e WDM**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Seção: Comunicações Ópticas. Publicado em: jun. 2008. Disponível em: <http://www.gta.ufrj.br/grad/08_1/wdm1/Fibraspticas-ConceitoseComposio.html>. Acesso 25 out. 2011.

RIBEIRO, José Antônio Justino. **Comunicações Ópticas** – São Paulo: Érica, 2003.

SANCHEZ, William Penhas. **PON: Redes Ópticas de Acesso de Baixo Custo**. Teleco – Inteligencia em Telecomunicações – Seção: Tutorial. Publicado em: jun. 2004. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialpon/default.asp>>. Acesso em 11 out. 2011.

TABINI, Ricardo; NUNES, Danizard. **Fibras Ópticas**. São Paulo: Érica, 1990.

TOLEDO, Adalton Pereira de Toledo. **Redes de Acesso em Telecomunicações** – São Paulo: Makron Books, 2001.