

UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

REDES ÓPTICAS ATÉ O ASSINANTE

Área de Engenharia Elétrica

por

Anderson Toshiake Chiba

João Hermes Clerici, Engenheiro
Orientador

Campinas (SP), Dezembro de 2009

UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

REDES ÓPTICAS ATÉ O ASSINANTE

Área de Engenharia Elétrica

por

Anderson Toshiake Chiba

Relatório apresentado à Banca Examinadora do
Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia
Elétrica para análise e aprovação.
Orientador: João Hermes Clerici, Engenheiro.

Campinas (SP), Dezembro de 2009

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, meus amigos e a minha namorada, que sempre que possível me ajudavam e compreendiam os momentos em que tive que me ausentar.

A todos os professores da Universidade São Francisco.

Em especial para o Prof. Eng. João Hermes Clerici, que sempre soube da melhor forma orientar-me e me ajudar para concluir este trabalho.

DEDICATÓRIA

Dedico este Trabalho de Conclusão de Curso a meus pais, minha família, e minha namorada, por terem me apoiado em todos os momentos para poder concluir esta graduação, e a Deus por sempre estar ao meu lado em todas as horas.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS.....	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
RESUMO	viii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJETIVOS.....	1
1.1.1. OBEJETIVO GERAL.....	1
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.2. METODOLOGIA	2
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO	2
2. Redes de acesso de banda larga.....	3
2.1 MOTIVAÇÃO	3
2.2 BANDA LARGA X REDE DISCADA.....	3
2.3 COMPARAÇÃO DE FIBRA ÓPTICA E FIOS DE COBRE	5
3. REDES DE ACESSO	5
3.1 ELEMENTOS DE UMA REDE ÓPTICA.....	7
3.1.1 FIBRA	8
3.1.2 TRANSMISSOR ÓPTICO	8
3.1.3 RECEPTOR ÓPTICO	9
3.2 TECNICAS DE MULTIPLEXAÇÃO	9
3.2.1 TDM.....	9
3.2.2 FDM	10
3.2.3 WDM.....	11
4. FTTH.....	12
4.1 REDES ÓPTICAS PASSIVAS.....	14
4.2 TOPOLOGIAS DE REDES PON	17
4.3 APON	19
4.4 BPON	23
4.5 EPON	23
4.5.1 PROTOCOLO MPCP (MULTI-POINT CONTROL PROTOCOL)	26
4.5.2. TRANSMISSÃO NO SENTIDO DOWNSTREAM	27
4.5.3. TRANSMISSÃO NO SENTIDO UPSTREAM.....	28
4.6 GPON.....	31

5. REDES ÓPTICAS NO MUNDO.....	34
6. CONCLUSÃO	38
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39

LISTA DE ABREVIATURAS

ADSL	Full Rate Asymmetrical Digital Subscriber Line
APON	Asynchronous Transfer Mode Passive Optical Network
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BPON	Broadband Passive Optical Network
CO	Central Office
DSL	Digital Subscriber Line
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing
EPON	Ethernet based Passive Optical Network
FDM	Frequency Division Multiplexing
FSAN	Full Service Access Network
FTTH	Fiber-To-The-Home
GFP	Generic Framing Protocol
GPON	Gigabit Passive Optical Network
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol
ITU-T	International Telecommunications Union
LASERS	Light Amplification by Estimulated Emission of Radiation
LCP	Local Convergence Point
LED	Light Emitting Diode
OEO	Optico-Eletrico-Optico
OLT	Optical Line Terminal
ONT	Optical Network Terminal
ONU	Optical Network Units
PON	Passive Optical Network
PTP	Peer-to-peer
QoS	Quality of Service
RDSI	Rede Digital de Servicos Integrados
S/N	Sinal-Ruido
SLA	Service-level Agreement
TDM	Time Division Multiplexing
VoIP	Voice over Internet Protocol
WAN	Wide Area Network
WDM	Wavelength Division Multiplexing
WiMax	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:Tendências no acesso domestico à Internet: banda larga VS dial-up.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 2:Tipos de acesso óptico e PON.....	7
Figura 3:Elementos básicos de uma rede óptica.....	7
Figura 4:Arquitetura PTP em FTTH.....	12
Figura 5:Arquitetura PON em FTTH.....	13
Figura 6:Rede PON com divisor óptico central.....	14
Figura 7:Estrutura básica de acesso PON.....	15
Figura 8:Funcionamento da OLT.....	15
Figura 9:Funcionamento da ONU.....	16
Figura 10:Topologia em anel.....	17
Figura 11:Toplogia em árvore.....	18
Figura 12:Topologia em barramento.....	18
Figura 13:Funcionamento da arquitetura ATM-PON.....	19
Figura 14:Arquitetura ATM-PON.....	20
Figura 15:Formato básico entre OLT e ONT.....	22
Figura 16:Apresentação de uma rede BPON.....	23
Figura 17:Representação de uma rede EPON.....	24
Figura 18:Representação rede EPON.....	25
Figura 19:Formato do preâmbulo MAC no protocolo MPCP.....	27
Figura 20:Transmissão de dados no sentido downstream.....	27
Figura 21:Caminho percorrido da mensagem Gate da OLT para ONU.....	28
Figura 22:Transmissão de dados no sentido upstream.....	29
Figura 23:Caminho percorrido da mensagem REPORT da ONU para OLT.....	30
Figura 24:Cálculo do Round Trip Time(RTT).....	30
Figura 25:Formarto de quadro no sentido downstream.....	31
Figura 26:Formato do quadro de controle PCBd.....	32
Figura 27:Formato de quadro no sentido upstream.....	33
Figura 28:Usuários de FTTH nos principais países.....	35
Figura 29:Estimativa de usuários de FTTH.....	36

RESUMO

CHIBA, Anderson T., **Redes ópticas até o assinante**. Campinas, 2009.

nºf.39.Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade São Francisco, Campinas, 2009.

Se tudo que você quer fazer é navegar na web, baixar algumas canções, enviar e receber algumas fotos, ou assistir a transmissão de vídeo em níveis atuais de qualidade de imagem, então a largura de banda, que as empresas de provedores de internet oferecem como o ADSL é provavelmente suficiente para você.

Mas o mundo atual está exigindo maior largura de banda. Empresas como a Netflix, Amazon e Wall-Mart estão oferecendo filmes de longa metragem para download nos E.U.A. Isso faz mais pessoas procurarem maior largura de banda para fazer downloads e uploads em seus e-mails e páginas de web.

Empresas de aparelhos eletrônicos estão empregando dispositivos com conexão a internet em suas TVs (*HDTV*), tornando cada vez mais popular vídeo de alta definição, por exemplo um filme de alta definição ocupa mais de 35.000 páginas da web, e um serviço que exige uma largura de banda grande comparada com as redes atuais disponíveis no mercado como ADSL.

Portanto a solução é utilizar Redes ópticas de acesso que utilizam como meio de transmissão de dados, fibras ópticas. As redes de acesso ópticas são utilizadas atualmente em países como Japão, E.U.A, Coreia do Sul. É uma tecnologia de rede de acesso onde são interligados em residências, empresas através da fibra óptica para fornecimento de serviços de comunicação de dados, acesso a internet de alta velocidade, TV digital, etc. A rede atual de acesso, é predominante constituída de par trançado de fios de cobre e os serviços de entretenimento da internet, como *vídeos de alta qualidade, IPTV, Vídeo conferência* não comportam esses serviços com qualidade de serviço. No estudo de caso, será feito estudo da tecnologia de rede de acesso FTTH, e compreender redes ópticas passivas que as suportam e finalizando como essas mudanças culturais que esta tecnologia estão provocando.

Palavras-chave: *Redes Ópticas Passivas . PON . FTTH*

ABSTRACT

If all you want to do is surf the web, download some songs, send and receive some photos, or watch streaming video at current levels of image quality, then the bandwidth, the companies Internet service providers offer as ADSL is probably enough for you.

But the world today is requiring higher bandwidth. Companies like Netflix, Amazon and Wal-Mart is offering feature films for download in the U.S. This causes more people to seek higher bandwidth for downloads and uploads your emails and web pages.

Consumer electronics companies are employing devices with Internet connection on their TVs (HDTV), becoming increasingly popular high-definition video, for example a high-definition occupies more than 35,000 web pages, and a service that requires a wide large bandwidth compared to current networks available in the market as ADSL.

So the solution is to use optical access networks that use as a means of data transmission, fiber optics. The optical access networks are currently used in countries such as Japan, USA, South Korea and a technology access network where they are interconnected in homes, businesses over fiber for provision of data communication, Internet access, high speed, digital TV, etc.. The current network access and predominantly made up of twisted-pair copper wires and entertainment services of the Internet, such as high quality video, IPTV, Video conferencing do not include these services with quality service. In the case study will be done studying the technology of FTTH access network, and understand passive optical networks that support them and finishing as these cultural changes that technology is causing this.

Keywords: *Passive Optical Networks. PON. FTTH*

1. INTRODUÇÃO

As necessidades de mudanças nos serviços de banda larga anunciam grandes mudanças nos provedores de telefonia, que prestam serviços de rede de acesso aos usuários residenciais e comerciais. As empresas de telecomunicações estão rapidamente maximizando o número de serviços prestados por eles e oferecendo ao cliente final, pacotes de serviços, tais como: *voz sobre IP (VoIP)*, *IP televisão (IPTV)*, e principalmente banda larga. Estes serviços estão se tornando básicos tanto para os usuários domésticos como para os usuários comerciais. A mudança está sendo sustentada pelos próprios usuários que necessitam maior largura de banda para suprir suas necessidades em redes de acesso.

Para solucionar o problema de falta de largura de banda, onde as redes atuais de cabo não podem suprir às necessidades do usuário. A rede de acesso óptico está vindo para suprir as necessidades de usuários de banda larga que necessitam de maior velocidade em conexões, a largura de banda de acesso óptico é extremamente grande, podendo chegar à ordem de *gigabits* por segundo (*Gbps*), e ainda aumentará com o avanço da tecnologia.

Para uma qualidade de serviço de dados transmitidos sobre rede de acesso óptico, é necessário colocar algumas variedades de equipamentos na residência do usuário. Com crescimento exponencial no tráfego de dados, em consequência de necessidades de maior largura de banda, a adoção de acesso óptico logo se tornara acessível a todos os usuários, como ocorre em muitos países como Japão, Coréia do Sul e Estados Unidos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1. OBEJETIVO GERAL

Este trabalho busca entender a tecnologia de redes de acesso em banda larga, utilizando fibra óptica até o usuário *Fiber-to-the-Home* – FTTH. E compreender as principais arquiteturas das redes ópticas passivas que a suportam

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Este trabalho tem como objetivo específico obter os seguintes resultados:

- Apresentar o estado atual da tecnologia de rede de acesso sobre fibra óptica até o usuário;
- Analisar as causas que motivaram o desenvolvimento dessa tecnologia, tanto do lado do usuário quanto do lado do provedor de serviço;
- Analisar tecnologias disponíveis para implantação desse sistema, destacando-se as Passive Optical Networks (*PON*), e mostrar os padrões estabelecidos: as novas tecnologias e os prováveis desenvolvimentos do Japão, Coréia do Sul e Estados Unidos;
- Apresentar a próxima geração de redes ópticas que farão uma transição de arquitetura TDM para WDM;
- Finalizando destacaremos as novas frentes de pesquisas nesta área e as mudanças culturais, que esta tecnologia provocará.

1.2. METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido através de pesquisa bibliográfica e artigos científicos.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

Na primeira parte será descrita introdução, o objetivo geral e específico e a metodologia utilizada.

Na segunda parte apresentaremos redes de acesso de banda larga e a motivação deste trabalho.

Na terceira parte descreveremos redes de acesso por via fibra óptica e as principais técnicas de multiplexação de sinais elétricos e ópticos.

Na quarta parte apresentaremos rede de acesso de fibra óptica FTTH e os tipos de redes passivas ópticas.

Na quinta parte apresentaremos redes ópticas implantadas no mundo.

Na sexta parte apresentaremos a conclusão do trabalho

2. REDES DE ACESSO DE BANDA LARGA

2.1 MOTIVAÇÃO

A motivação é discutir que a fibra óptica será a melhor solução para rede de acesso à banda larga e serviços de Internet.

A tecnologia de fibra óptica é atraente, quando se pode substituir a rede existente por uma rede óptica aumentando assim a viabilidade econômica de aplicações da nova rede, com isso fazendo gerar competitividade e uma melhor qualidade de serviço entre empresas provedoras de serviços de banda larga e usuário final.

A rede atual e sua atual infra-estrutura não acompanham o crescimento exponencial de serviços de banda larga. Serviços como: videoconferência de alta definição, transferência de dados em alto volume, TV Digital, tele-medicina, jogos on-line, etc., estão cada vez mais exigindo da rede de acesso, sendo necessária uma maior largura de banda da rede.

O crescimento de serviço de voz sobre Internet é relativamente fácil. Fornecer este serviço gera alto fluxo de dinheiro, com isso as empresas de banda larga devem se mover no sentido de fornecer serviços de dados, voz e imagem ou multiserviços, a fim de se obter e reter mais clientes, melhorando o custo benefício.

As plataformas de acesso ópticas abrem uma nova era de a rede de banda larga, que será marcada pelas empresas que conseguiram ganhar vantagem e competitividade sobre o fornecimento de arquitetura de alta velocidade. Assim conseguirão aumentar o desempenho da rede acima citada, além das exigências crescentes do mercado de banda larga e de tráfego de dados dos clientes.

2.2 BANDA LARGA X REDE DISCADA

Segundo a pesquisa da *Pew Internet & American Life Project* de 2008, atualmente cerca de 55% dos americanos possuem acesso a banda larga em suas residências. Com grande crescimento

de banda larga as redes discadas (*dial-up*), estão presentes em apenas 10% das residências dos usuários americanos, figura 1.

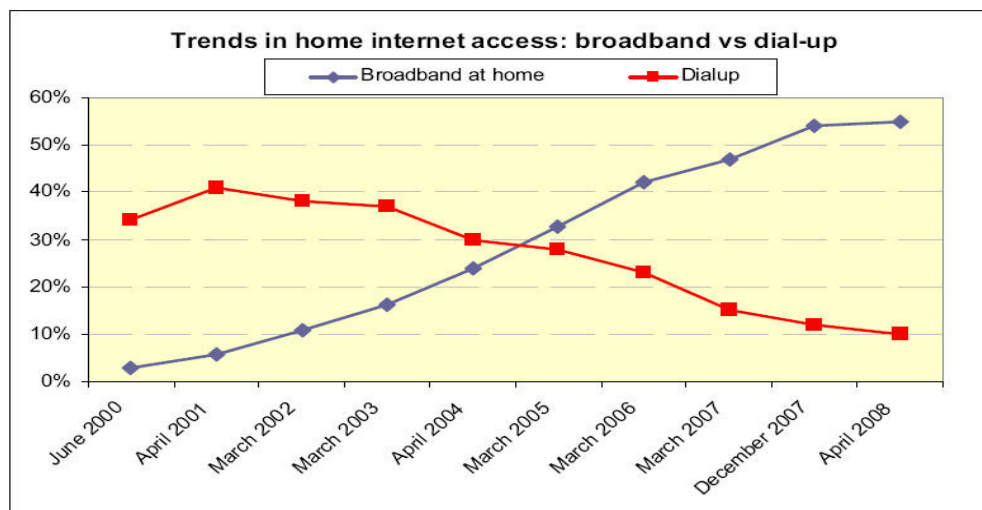


Figura 1. Tendências no acesso doméstico à Internet: banda larga VS dial-up.

Fonte: [2]

Isso significa que, em poucos anos, os usuários de rede discadas, irão migrar para serviço de banda larga. O mesmo acontecerá com usuários de banda larga, que migrarão para serviços de maiores velocidades, como os serviços ópticos.

Os serviços de banda larga estão atualmente divididos em duas categorias: com fio e sem fio. As redes de acesso atual usam infra-estrutura de pares trançados e de fios coaxiais, como *x-DSL* e modem a cabo. Problemas com infra-estrutura física são consideradas de difícil acesso para utilização de pares trançados de fios coaxiais por isso utilizam-se redes de acesso *WiFi* e *WiMax*.

Redes sem fio requerem menos custo de investimento, por causa da sua infra-estrutura externa. *WiFi* (802.11) e *WiMax* (802.16) são padrões *IEEE*, para acesso fixo ou móvel. A principal vantagem de redes sem fio é oferecer acesso à banda larga em locais de difícil acesso onde fios de cobre e fibras ópticas não podem chegar como cafés, universidades, aeroportos, escritórios e outros, onde há grande fluxo de usuários móveis. Atualmente é fácil conseguir acesso de banda larga, com um computador portátil ou telefone celular, que possui sistema de acesso *WiFi*, sendo assim possível se conectar a internet de várias formas. Redes sem fio possuem a mesma limitação de rede com fio, quanto maior a distância entre o usuário e a central, menor será a velocidade de conexão de acesso.

Com o grande crescimento do tráfego de dados na internet, criaram-se novos mercados e empresas de comunicação de dados. Atualmente usuários de banda larga que utilizam serviços como TV digital, voz sobre IP (*VoIP*), dados em grandes volumes, vídeos de alta definição, jogos on-line, são serviços que exigem cada vez maior largura de banda, sendo necessário migrar para outro tipo de serviço, como redes ópticas.

2.3 COMPARAÇÃO DE FIBRA ÓPTICA E FIOS DE COBRE

A fibra óptica possui muitas vantagens comparadas com par de fios de cobre. A fibra pode gerenciar larguras de banda muito mais altas que a de cobre. Devido sua baixa atenuação, os repetidores são necessários a cada 50 km de distância, em quanto o outro necessita de repetidores a cada 5 km de distância, assim fazendo uma economia significativa [3].

A fibra óptica possui vantagens como: não ser afetada por interferências eletromagnéticas, picos de voltagens ou queda de fornecimento de energia elétrica. Empresas telefônicas e provedoras de banda larga estão cada vez mais aderindo ao sistema de fibras ópticas em suas redes, pela vantagem da fibra óptica ser mais fina e leve, comparada com dutos de cabos atuais de cobre. Para exemplificar, mil pares de trançados de fios de cobre com 1 km de comprimento pesam 8 toneladas. Já utilizando duas fibras ópticas que possuem uma maior capacidade de transmitir dados pesam apenas 100 kg, isso faz reduzir de maneira significativa a necessidade de sistemas mecânicos de suporte, cuja manutenção é considerada muito alta. Nas fibras ópticas o custo de instalação é muito mais baixo.

No entanto a fibra óptica tem a desvantagem de ser uma tecnologia menos familiar em países subdesenvolvidos, exigindo conhecimento que nem todos os engenheiros possuem, além disso, as fibras ópticas podem ser danificadas, se forem encurvadas na sua instalação. Apesar disso o futuro de toda comunicação de dados em grande volume que exige uma largura de banda extremamente grande, dependerá da fibra óptica.

3. REDES DE ACESSO

Com a necessidade de maior largura de banda, já que o sistema ADSL fica com gargalo de suportar alguns tipos de serviços, portanto abre-se novos mercados de banda larga, o de fibra óptica.

Países como EUA, Coréia do Sul e Japão, detêm a tecnologia de transmissão de dados por fibra óptica.

O ponto mais importante para implantação de rede óptica e o custo e sua manutenção, figura 2.

A figura 2(a) apresenta a instalação de fibra óptica dedicada, ou seja, em cada residência ou empresa irá possuir um cabo de fibra ótica. Este tipo de arquitetura faz com que tenha um custo muito elevado para a sua implantação, com isso seria necessário transmissores de dados (transceptores) na central telefônica e no local do usuário final.

A figura 2(b) apresenta uma arquitetura que diminui a quantidade de fibra óptica. Nesta arquitetura é utilizada somente um cabo de fibra óptica que sai da central telefônica e é distribuída para um concentrador. A partir do concentrador a arquitetura é a mesma da figura 2(a). O ponto negativo desta rede óptica é o posicionamento do concentrador, por ser um elemento ativo, ou seja, que necessita de energia elétrica para seu funcionamento, faz gerar custo alto de manutenção e supervisão.

A solução mais econômica é a implantação de PON (*Passive Optical Network*), onde é possível substituir o concentrador por um divisor óptico passivo, como podemos ver na figura 2(c), pois é uma arquitetura ponto-multiponto que não possui elementos ativos na rede, ou seja, que não necessita de energia elétrica para seu funcionamento. Seu funcionamento só depende das fibras ópticas e divisores ópticos passivos. O funcionamento é da seguinte maneira: um OLT¹ transmite um sinal óptico na fibra que é distribuído para os usuários, através de divisores ópticos passivos onde é convertido em um sinal eletrônico nas ONU's², que pode ser reconhecido por equipamentos como computadores, aparelhos telefônicos e de fax.

¹ OLT é responsável pela viabilidade de serviço para o usuário fazer o controle de qualidade de serviço (Qos) e o SLA (*service-level agreement*) é um contrato entre empresa prestadora de serviço de banda larga e usuário, onde são definidos termos de responsabilidade do portador ao cliente.

² A ONU é responsável em converter o sinal óptico em sinal elétrico, onde será encaminhado para portas padrões como rede ATM, Ethernet, IP, etc

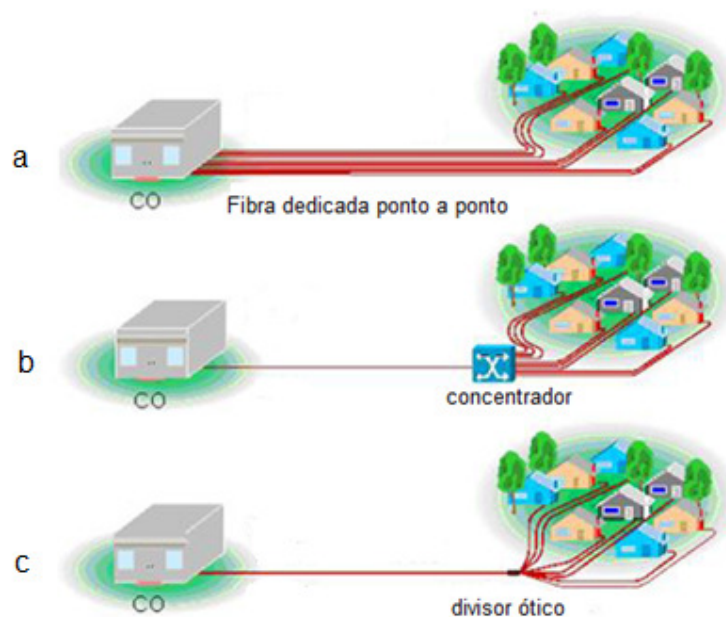


Figura 2: Tipos de acesso ópticos e PON

Fonte: [6]

3.1 ELEMENTOS DE UMA REDE ÓPTICA

Um sistema de comunicação óptica e seus respectivos elementos básicos são apresentados abaixo, na figura 3.

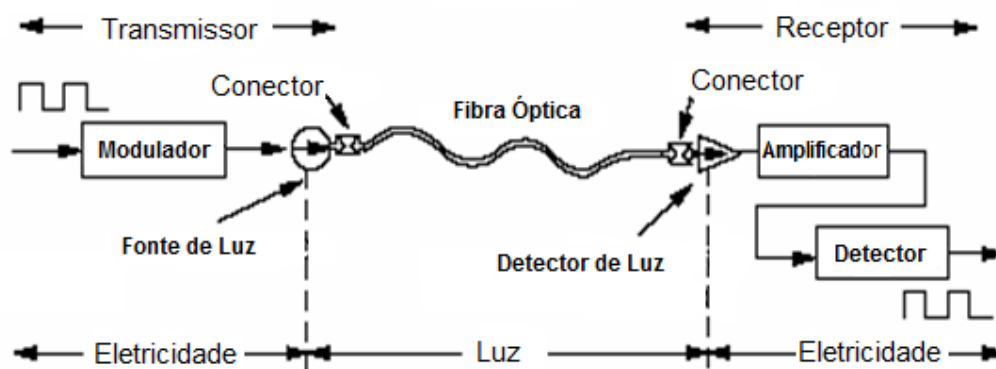


Figura 3: Elementos básicos de uma rede óptica

Fonte: [4]

3.1.1 FIBRA

A fibra óptica transmite ondas eletromagnéticas nas formas luminosas, utilizando como princípio fundamental o fenômeno físico conhecido como reflexão total da luz. Para que isso ocorra é lançado um feixe de luz em uma extremidade da fibra óptica. E pelas características ópticas do meio, esse feixe percorre a fibra através de várias e consecutivas reflexões. Para que se ocorra a reflexão total, a luz emitida na fibra óptica deve sair de um meio refringente para um meio menos refringente com um ângulo de incidência igual ou maior que o ângulo limite. Esse ângulo é conhecido como transmissão guiada.

A fibra óptica pode ser classificada em dois modos, dependendo de como a luz se propaga no interior de cada núcleo da fibra: Monomodais e Multimodais.

As fibras monomodais requerem conectores de maior precisão e equipamentos de alto custo, por isso, é mais adequada para aplicações que envolvam grandes distâncias de transmissão. Por possuir um núcleo pequeno a transmissão óptica ocorre somente em um modo, ou seja, em uma só direção.

As fibras multimodais possuem o diâmetro do núcleo maior que da fibra monomodais, permitindo que a transmissão óptica ocorra em vários modos.

3.1.2 TRANSMISSOR ÓPTICO

Os transmissores ópticos são equipamentos compostos de um dispositivo emissor de luz, um modulador e um acoplador.

O dispositivo emissor de luz é um dispositivo ativo básico do sistema, responsável em converter os sinais eletro-ópticos. A capacidade de transmissão emitida por um transmissor óptico é função do tipo de dispositivo emissor de luz utilizado, como Lasers (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*), ou dispositivos superiores aos LED's (*Light Emitting Diode*).

Nos primeiros sistemas ópticos eram utilizados como fonte emissor de luz LED's que operavam em 850 nm, quando surgiram os Lasers, iniciou-se a utilização de comprimentos de ondas de 1310 nm e mais tarde começou a se utilizar comprimentos de ondas de 1550nm. As faixas de

transmissão de comprimento de ondas de 850, 1300 e de 1500 nm são conhecidas como janelas de transmissão. Essas janelas de transmissão são utilizadas por possuírem baixas perdas devido ao espalhamento de Rayleigh.

O modulador é responsável em inserir os dados para serem transmitidos na portadora óptica e o acoplador é o equipamento responsável em inserir a luz na fibra óptica.

3.1.3 RECEPTOR ÓPTICO

O receptor óptico é composto de um dispositivo fotodetector, onde possui um estágio de amplificação e filtragem de um acoplador e de um demodulador. O equipamento responsável em converter o sinal óptico em sinal elétrico é outro elemento ativo básico do sistema, o fotodetector. O demodulador é responsável em retirar a informação da fibra.

3.2 TECNICAS DE MULTIPLEXAÇÃO

Para aumentar a capacidade de fibras ópticas já instaladas, existem duas maneiras de se aumentar a capacidade de uma fibra.

A primeira opção é aumentar a transmissão de taxa de bits, onde requer equipamentos eletrônicos de alta velocidade, mas muitos dados podem ser multiplexados em uma sequência de bits, pela técnica de multiplexação TDM (*Time Division Multiplexing*), ou também pode-se utilizar a técnica de multiplexação WDM (*Wavelength Division Multiplexing*).

3.2.1 TDM

A técnica de multiplexação TDM utiliza a técnica, na qual se divide o sinal da largura de banda total do enlace em vários canais, para poder transmitir o transporte simultâneo de vários sinais ao mesmo tempo. A distribuição de sinal é feita em intervalos de tempo, conhecido como *Time-Slots* fixo para cada sinal.

No TDM a transferência do sinal de dados é síncrona e os intervalos de tempo são controlados pelo *clock* do sistema, ou seja, todos os *slots* de tempo são de tamanhos iguais. Sendo assim, não necessários pulsos adicionais de começo ou de final. O protocolo *Asynchronous Transfer Mode* (ATM) é um protocolo orientado a conexão que pode comutar o tráfego em altas velocidades sozinho, ou seja, o TDM pode ser um sistema síncrono e assíncrono.

Os intervalos de tempos são obtidos quando cada canal origina a informação de entrada do multiplexador, que armazena os dados em um buffer de memória, conhecido como bloco de sincronismo. Com isso, faz o multiplexador fazer uma amostragem de cada canal de entrada com taxas de velocidades requeridas pelo sistema, e assim realizando o processo.

Neste processo o multiplexador pode amostrar o primeiro bit de informação dos canais 1 ao ultimo canal N, adicionar um overhead de informação de volta ao primeiro canal, antes que o próximo bit de informação do canal 1 entre. Este tipo de multiplexador, aceita um ou mais bits binários de informação de cada canal ao mesmo tempo, podendo gerar vários pulsos que compensam a transmissão do sinal. O bit de overhead é usado para que o demultiplexador, no lado do receptor ONU, possa identificar os sinais recebidos e reconstituir o sinal.

A vantagem do TDM comparado com o FDM é que se torna mais eficiente quando: transmitido sinal com banda de guarda; alguma ineficiência pode ser gerada; um pequeno número de bits e finalmente quando adicionado ao conjunto de pulsos transmitidos para prover ao multiplexador e demultiplexador sincronismo de detecção de erro, como por exemplo, alguns bits a mais para gerenciamento em sistemas de comunicação de redes. A desvantagem do TDM é o custo de codificação PCM.

Existem três tipos de cabos para multiplexadores TDM. O primeiro é a fibra óptica monomodo, permite que somente a onda óptica se propague em um sentido. O segundo é a fibra que possui um diâmetro de núcleo muito pequeno aproximadamente 8um, permitindo transmissão de dados em longas distâncias e larguras de faixa extremamente elevada. A terceira e última a fibra óptica multimodo se propaga em diversos modos, possui diâmetro do núcleo entre 50 a 100um, permitindo fontes de luz mais barata, como o LED (*Diodo Emissor de Luz*), o acoplamento da fibra multimodo é menos crítico que fibras monomodo. A distância de transmissão e largura de faixa são menores devidos á dispersão.

3.2.2 FDM

FDM (*Frequency Division Multiplexing*) pode transmitir vários ou múltiplos sinais simultaneamente sobre um único cabo de fibra óptica. Cada canal de informação é associado a uma única frequência da portadora com amplitudes e fases diferentes. Após isso multiplexados em único canal de transmissão. O sinal resultante é um conjunto de vários sinais com portadoras discretas,

que são separados pelo receptor por demoduladores e filtros, logo após são sintonizados por uma portadora com uma frequência específica.

A vantagem do FDM comparado com TDM consiste em que o FDM não é sensível a atrasos de propagação. As técnicas de equalização do sinal FDM não são multiplexados como do TDM. A desvantagem do FDM é a necessidade de filtros passa-banda, o que relativamente é caro para um projeto de construção, mas por outro lado TDM utiliza circuitos lógicos simples e são mais baratos na sua composição.

3.2.3 WDM

A técnica de WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) é uma técnica de multiplexação, onde ocorre a modulação de múltiplos sinais.

Os sinais são carregados junto com um sinal multiplexado de acordo com separação por comprimento de onda (cor) da luz. Os canais WDM são separados por comprimento de onda para evitar ligação cruzada, quando são multiplexados por uma fibra óptica não linear.

A técnica de multiplexação WDM e o FDM possuem os mesmos princípios com a diferença que no WDM se aplica e utiliza os comprimentos de onda da luz da fibra óptica para se fazer a multiplexação do sinal, já no FDM faz a multiplexação por meio de transmissão elétrica analógica. Portanto, o sistema de multiplexação WDM é mais confiável, por utilizar componentes passivos e não requer energia para seu funcionamento, diferente do FDM.

A multiplexação WDM permite que se utilize uma expressiva largura de banda da fibra óptica, mas os equipamentos e dispositivos passivos limitam a largura de banda.

O funcionamento do sistema WDM consiste em cada laser responsável em emitir luz, com um comprimento de onda diferente. Cada luz é multiplexada em uma única fibra. Após a luz ser transmitida, por uma fibra óptica com elevada largura de banda, os sinais ópticos combinados devem ser demultiplexados pelo receptor, após isso cada receptor recupera seletivamente cada sinal com respectivo comprimento de onda, usando um filtro óptico ajustável.

O funcionamento de cada laser óptico é da seguinte maneira: a luz transmitida é modulada em certa velocidade e a capacidade total que está sendo transmitida ao longo da fibra é o total da soma das taxas de bits dos lasers individuais, por exemplo, um sistema onde possui dez sinais de 2,5 Gbps, pode ser transmitido em uma fibra, produzindo um total de 25 Gbps. Com uma transmissão

de 2,5 Gbps, acaba com o problema dos dispositivos ópticos eletrônicos típicos, que não tem larguras de banda, que excedam alguns *gigabits*. As exigências dos componentes ópticos eletrônicos são deixadas de lado, no quesito velocidade, mesmo que uma largura de faixa total da fibra óptica esteja sendo utilizada.

4. FTTH

O principal foco para que a banda larga em alta velocidade atraia mais assinantes é conseguir buscar tecnologia de baixo custo e gerar renda para empresas prestadoras de serviços de banda larga, para justificar o investimento.

Para isso, é possível utilizar arquitetura como fibra óptica até a residência (*Fiber to the Home-FTTH*). A rede de acesso FTTH é feita por cabos de fibra óptica, sua configuração é feita em dois modos, que podem ser fibra ponto a ponto (PTP), ou seja, fibra dedicada, ou fibra compartilhada que é distribuída por um divisor óptico passivo (*Passive optical network-PON*). Na primeira configuração (PTP), a fibra é dedicada a cada usuário, o cabo óptico sai da central telefônica e fornece o cabo óptico até a casa do usuário, nesta configuração o custo é considerado muito alto para usuário doméstico, figura 4. Na segunda configuração, a fibra é compartilhada e os cabos ópticos são distribuídos através de um divisor óptico passivo (PON), que pode ser distribuído entre 16 a 32 usuários.

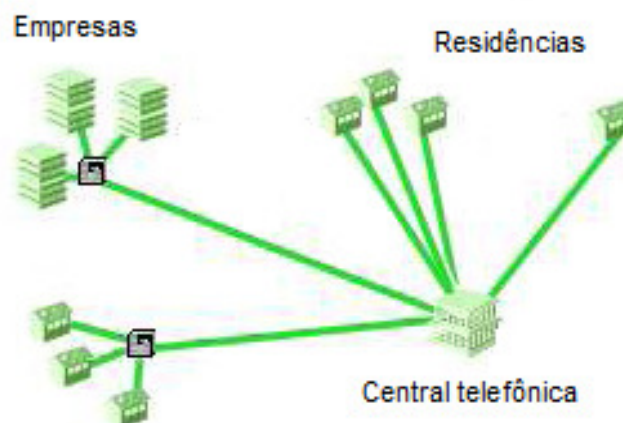


Figura 4: Arquitetura PTP em FTTH

Fonte: [6]

Rede óptica passiva PON possui várias vantagens e desvantagens comparadas com a fibra dedicada, baseados em custo, largura de banda e equipamentos ópticos utilizados na rede, figura 5.

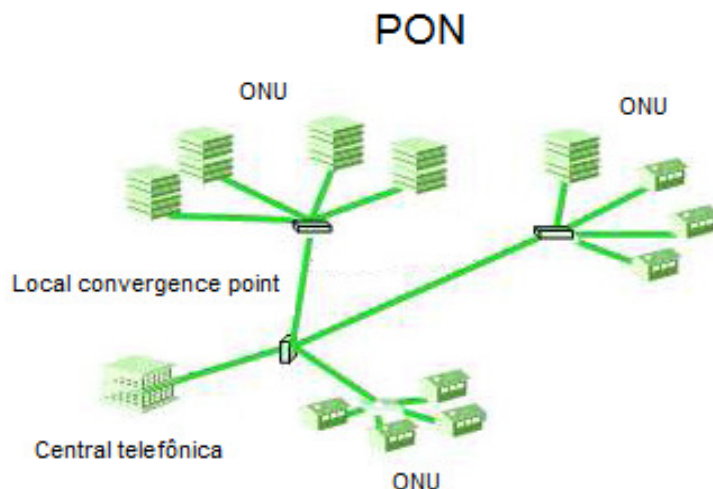


Figura 5: Arquitetura PON em FTTH

Fonte: [6]

Fibra dedicada (*PTP*) são redes mais fáceis para se projetar na arquitetura FTTH, são caracterizadas pelo uso de um único cabo óptico por usuário. Uma fibra dedicada possui terminações no usuário final e na central telefônica para o fornecimento de serviços de banda larga. Pode-se utilizar fibras monomodo e multimodo ao longo da rede. O problema da fibra dedicada é possuir equipamentos ativos na rede, sendo necessária energia elétrica para seu funcionamento, por serem “fibras ricas”, não requer nenhum compartilhamento de fibra ou de largura para usuário final.

Fibra compartilhada (*PON*) são fibras ópticas divididas entre usuários, tendo compartilhamento da fibra entre vários usuários. A partir de um divisor óptico passivo, (*PON*) onde é possível dividir um cabo de fibra óptica entre 16 a 32 usuários, a largura de banda da fibra originada pelo central telefônica é compartilhada entre esses grupos de usuários.

Primeiramente todos divisores ópticos (*PON*), possui uma posição central, como podemos ver na figura 6. Neste caso as centrais telefônicas procuram máxima eficiência da rede, e utilizam divisores ópticos 1x32 para compartilhar o máximo a rede óptica. Fazendo com isso diminuir a

quantidade de transmissores na residência ou empresa do usuário e na central telefônica e nos divisores ópticos. Nesse caso os divisores ópticos se situam em armários chamados LCP (*local convergence point*) e o local onde as extremidades dos cabos ópticos interligam ao usuário final (a partir deste ponto o usuário final irá possuir seu cabo óptico dedicado). Uma rede PON pode alcançar usuários a 20 km de distância do transmissor original, abrangendo 98% dos usuários.

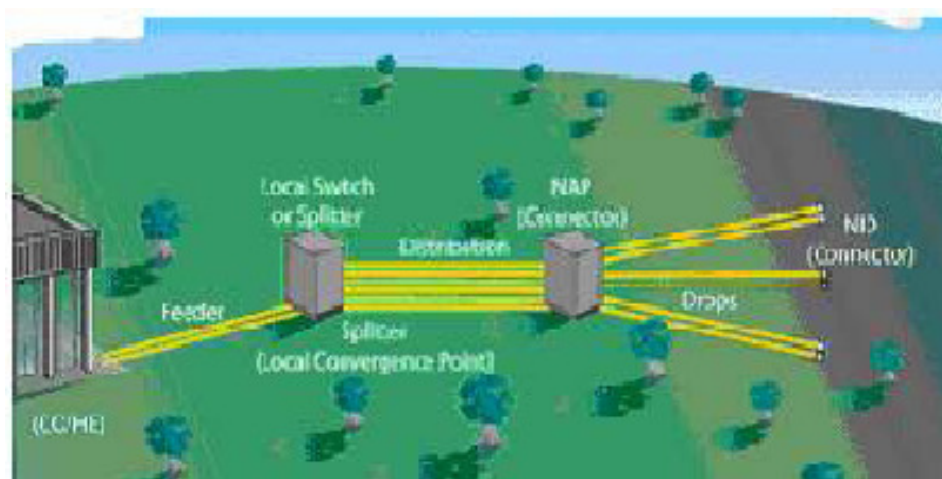


Figura 6: Rede PON com divisor óptico central

Fonte: [6]

Portanto FTTH leva a fibra óptica diretamente à residência e empresas individualmente, sendo completamente livre de fios de cobre na planta exterior da rede, fornecendo velocidade típica de 30 Mbps a 100 Mbps, mas também podendo oferecer velocidades de transmissão superiores a Gbps. Empresas de telecomunicações que exploram redes PON podem escolher arquitetura adicional e decidir qual arquitetura melhor será utilizada. Pode se utilizar arquiteturas com divisor centralizado, arranjo de divisor distribuído e arranjo cascadeado. Ambas as configurações estão destacados por razões diversas dependendo de *tradeoffs* de suas características específicas.

4.1 REDES ÓPTICAS PASSIVAS

Para acesso de uma rede passiva óptica (Passive Optical Network-PON) é utilizado equipamentos como terminal de linha óptico (*Optical Line Terminal- OLT*), localizados nas bordas dos anéis ópticos das redes de transporte SDH, conectados em vários outros equipamentos (*Optical*

Network Units-ONU ou Optical Network Terminal-ONT) localizados na residência do usuário, figura 7.

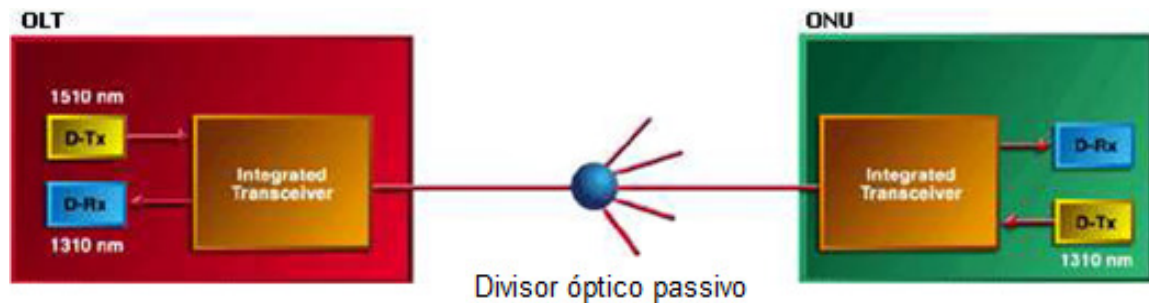


Figura 7: Estrutura básica de acesso PON

Fonte: [5]

A OLT é responsável pela viabilidade de serviço para o usuário fazer o controle de qualidade de serviço (Qos) e o SLA (*service-level agreement*) é um contrato entre empresa prestadora de serviço de banda larga e usuário, onde são definidos termos de responsabilidade do portador ao cliente. A OLT é responsável em fazer a multiplexação de dados de diferentes usuários, figura 8.

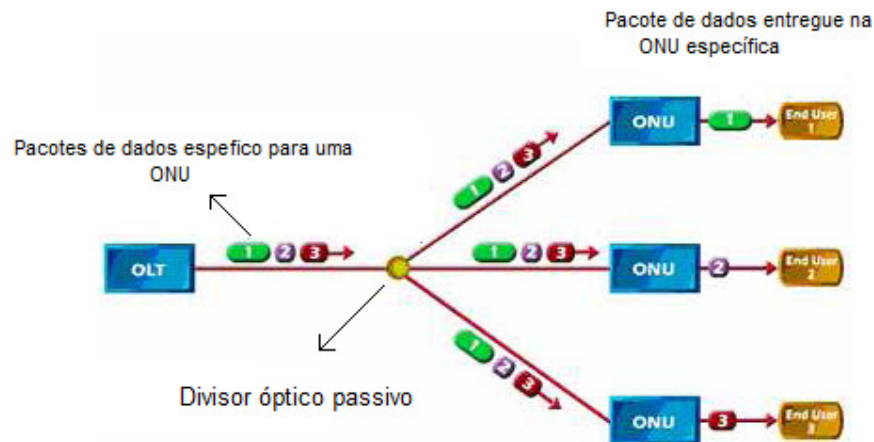


Figura 8: Funcionamento da OLT

Fonte: [5]

A ONU é responsável em converter o sinal óptico em sinal elétrico, onde será encaminhado para portas padrões como rede ATM, Ethernet, IP, etc. O funcionamento é da seguinte maneira: o sinal óptico é enviado para um divisor óptico passivo, onde o sinal óptico é dividido em vários

equipamentos ONU's. Cada ONU receberá e retransmitirá o sinal óptico recebido em um canal próprio com banda dinamicamente alocada e *Qos* e SLA individuais. Os sinais ópticos recebidos operam em comprimento de ondas diferentes, permitindo que a transmissão ocorra na mesma fibra óptica, não havendo problemas de transmissão de dados. A OLT verificará os parâmetros de *Qos* e SLA e a disponibilidade do segmento PON em que opera, após esse processo é feita a alocação dinâmica, onde a banda de transmissão pode chegar entre 1Mbps a 10 Gbps para cada usuário, figura 9.

Divisor óptico passivo é responsável em dividir os sinais ópticos recebidos e funciona em dois sentidos, downstream e upstream.

No sentido downstream o divisor óptico divide o sinal óptico de entrada e direciona o sinal óptico para as portas de saída ONU que estão conectadas. Em sentido upstream o divisor óptico combina todos os sinais ópticos enviados desde as ONU's em direção a OLT, cada ONU estabelece uma comunicação com a OLT, mas não se comunica entre ONU a ONU.

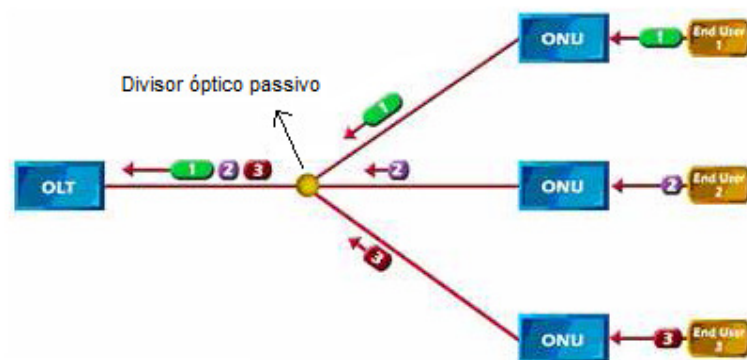


Figura 9: Funcionamento da ONU

Fonte: [5]

As vantagens da tecnologia PON são:

- Por não existir elementos ativos ocorre economia de energia elétrica, gerando baixo custo de manutenção entre a central e a ONU;
- Diversidade de serviços;

- Maior confiabilidade por não usar componentes eletrônicos, sendo menos propensos a erros e falhas e;
- Pode operar sem atenuação do sinal óptico a 20 km de distância da central ao usuário final.

A tecnologia PON é a solução mais viável para evitar os altos custos de conexões ópticas como conexão ponto a ponto (PTP), facilitando o acesso de banda larga de alta velocidade para usuários domésticos.

4.2 TOPOLOGIAS DE REDES PON

Redes PON podem ser implantadas com diferentes topologias físicas, como: anel, estrela e barramento.

A topologia anel consiste em duas ONU's conectadas em um OLT, criando dois segmentos de PONs: PON-A e PON-B. As outras ONU's são conectadas de forma serial a partir da primeira ONU do segmento, formando um barramento óptico. Desta forma cada ONU de cada barramento funcionará como um derivador óptico ativo. Ao final dos barramentos as últimas ONU's da topologia são conectadas entre si e então fecham um anel óptico a partir de dois segmentos PONs, figura 10. As vantagens desta topologia são: a redundância da rede e a possibilidade de configuração do custo métrico de tráfego, onde é possível indicar a direção mais rápida para o tráfego.

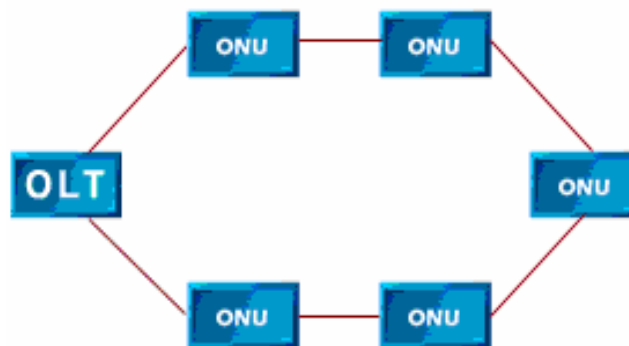


Figura 10: Topologia em anel

Fonte: [5]

Topologia em estrela são ONU's conectadas a uma OLT por um único segmento PON. A partir dessa OLT conecta-se um segmento de fibra óptica denominada (*Deep Fiber*), que então

recebe um divisor passivo. O primeiro divisor deve ter, no mínimo, um fator de derivação de 1:2, ou seja, um divisor óptico cria dois sub-segmentos de fibra, figura 11. A maior vantagem desta topologia é quando as ONU's estão distantes da OLT ou estão concentradas a partir de certa distancia onde não existem ONU's intermediarias. Por exemplo, 15 km de segmento de fibra (*deep fiber*) somente irá começar a derivação deste segmento a partir desta distância de 15 km.

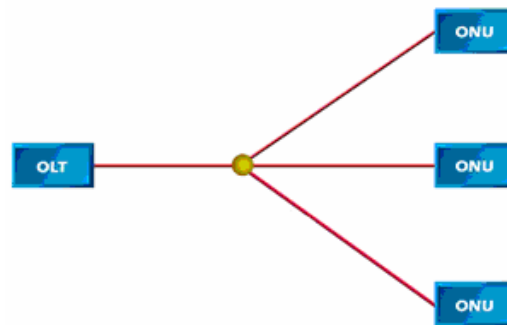


Figura 11: Topologia em estrela

Fonte: [5]

Topologia de rede em barramento as ONU's são conectadas a uma OLT, através de um segmento de fibra óptica, que então recebe vários divisores passivos com o fator de derivação de 1:2, ou seja, um divisor óptico cria dois sub-segmentos de fibra, figura 12. Um dos sub-segmentos obtidos serve de conexão para a ONU e o outro serve como caminho passante para o próximo divisor óptico.

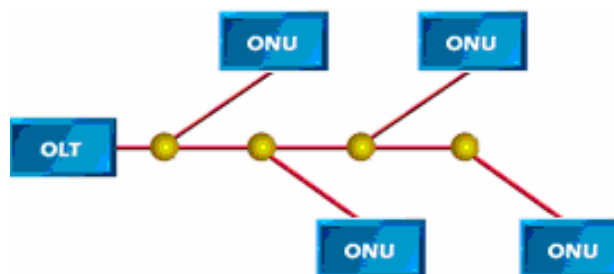


Figura 12: Topologia em barramento

Fonte: [5]

O que diferencia cada PON são as camadas altas dos protocolos como: APON (*ATM-PON*), BPON (*Broadband PON*), EPON (*Ethernet PON*) e GPON (*Gigabit-PON*).

4.3 APON

No ano de 1995, foi criado o comitê *Full service Access Network* (FSAN) com objetivo de regulamentar o padrão de serviços de banda larga, juntamente com isso, foi feito um acordo para que se padronizassem as redes PON's. Em 1997 foi apresentada a proposta de rede APON, que utiliza rede ATM como seu protocolo, que logo mais tarde foi adotada pela União Internacional de Telecomunicações (*ITU-T*) na recomendação G.983.1.

A rede óptica passiva PON pode ser implantada com arquitetura FTTH, pela vantagem de todos os elementos ativos externos serem eliminados da planta externa.

Logo abaixo e apresentando uma visão geral da arquitetura ATM-PON, figura 13.

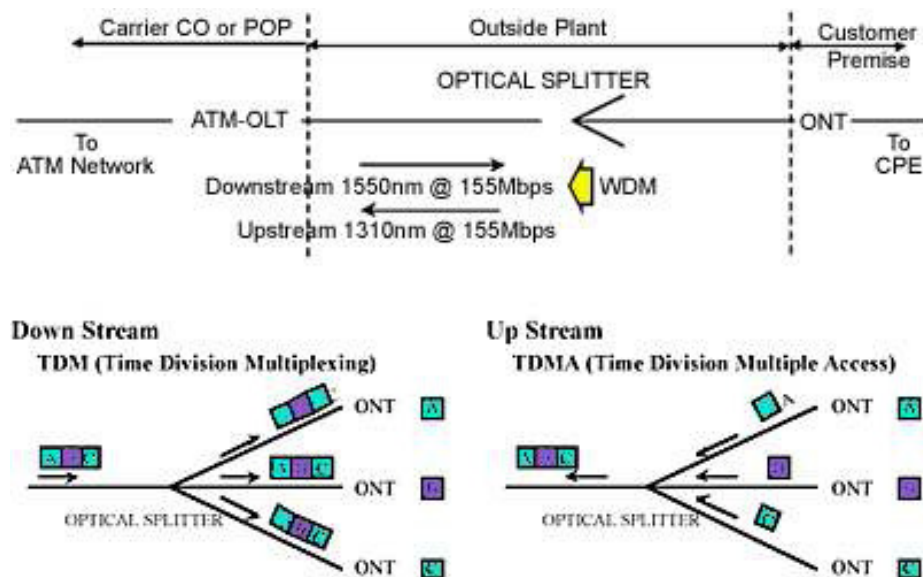


Figura 13: Funcionamento da arquitetura ATM-PON

Fonte: [5]

Arquiteturas que utilizam fibra óptica como FTTH, oferecem mecanismo que habilitam banda suficiente para oferecer serviços e aplicações, como internet, vídeo interativo, voz sobre IP, entre outros serviços que exigem uma largura de faixa grande, figura 14.

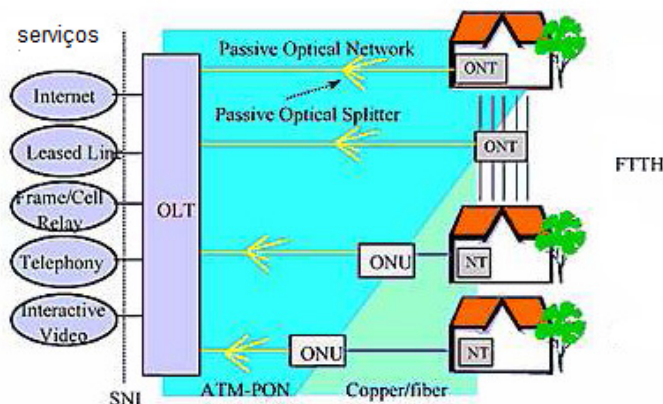


Figura 14: Arquitetura ATM-PON

Fonte: [5]

A arquitetura ATM-PON utiliza uma arquitetura chamada de dupla estrela, ou seja, a primeira estrela está localizada na OLT onde a interface WAN é compartilhada e comutada para interface ATM-PON. A segunda estrela está no divisor óptico passivo, onde a informação é passivamente compartilhada e entregue para cada ONT. O OLT está localizado geralmente na central telefônica, e é o ponto de interface entre sistema de acesso e os pontos de serviços dentro da rede do provedor. Portanto quando o conteúdo de dados da rede encontra o OLT, ele é comutado diretamente para o divisor óptico passivo usando a técnica de multiplexação TDM.

O formato básico de uma rede APON, utilizando a recomendação G 983, entre OLT e ONT utiliza a fibra monomodo limitado a uma distância de 20 km entre eles, para um número máximo de 32 usuários (ONT's), com valores de transmissão de 155 Mbps ou 622.08 Mbps no sentido *downstream* com tráfego contínuo de dados, é uma taxa de transmissão de 155 Mbps no sentido *upstream* com características de tráfego em rajadas (*bursts*).

A estrutura do quadro no sentido *downstream*, é feita por células com 53 bytes cada uma. Células ATM podem ser adicionadas com células *Physical Layer Operation Administration and Maintenance* (PLOAM), responsável pela alocação de banda e sincronização, controle de erro e

segurança, alcance e manutenção, o PLOAM possui um total de 28 times slots para todos esses recursos.

Para a transmissão em velocidade de 155.52 Mbps, possui um quadro de 54 células ATM, sendo células PLOAM e para transmissão com velocidades de 622 Mbps o quadro será de 216 células ATM, sendo 8 células PLOAM.

Na transmissão no sentido *upstream*, o formato do quadro se caracteriza em 53 células ATM de 56 bytes cada uma, com um cabeçalho (*overhead*) de 3 bytes que possui cada um no mínimo 4 bits de tempo de espera, para garantir um intervalo de tempo suficiente para prevenir colisões entre células de outras ONT's.

A transmissão básica de quadros para uma taxa de 155.52 Mbps está apresentada na figura 15, onde é possível se observar uma redução na capacidade de carga útil (*payload*) no sentido (*downstream*) de 155.52 Mbps para uma taxa de 149.97 Mbps. Correspondente a 54 células ATM sendo 2 células PLOAM, localizados uma célula no início e outra no meio do quadro. No sentido *upstream*, a taxa de transmissão é reduzida para 149.19 Mbps, isto ocorre porque existe 3 bytes de overhead por célula ATM que na figura 15, está identificada como PLOAM.

O envio de células ATM necessitam de autorização concedidas da OLT para que células PLOAM seja transmitidas no sentido *downstream* já a transmissão das células PLOAM obedece uma taxa programada. Os 3 bytes de cada célula PLOAM é constituído por 4 bits de tempo de espera e 20 bits dos campos preâmbulo e delimitação. O campo preâmbulo é utilizado para permitir que a sincronização de bits e o campo delimitação é utilizado para indicar o início de cada célula.

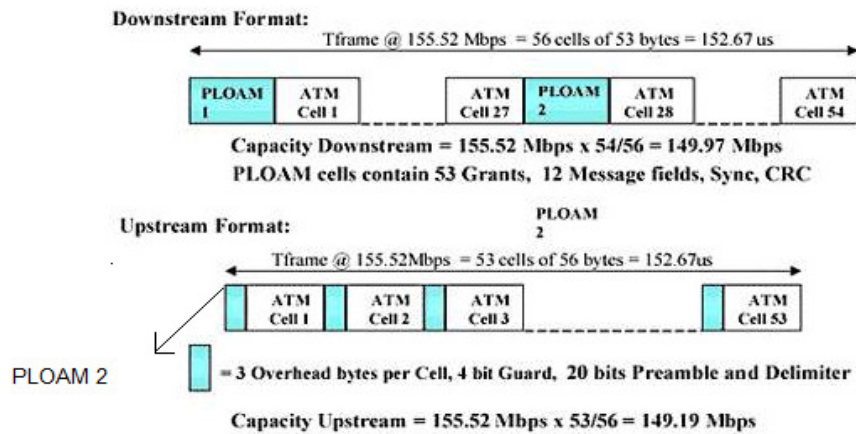


Figura 15: Formato básico entre OLT e ONT

Fonte: [5]

O OLT e as ONT's utilizam para a comunicação ATM o *Virtual Path* VP/VC, desta forma o cabeçalho de 5 bytes de uma célula ATM, tem um campo de endereçamento de 28 bits. Associados juntamente com *Virtual Path Identifier* (VPI) de 12 bits é *Virtual Channel Identifier* (VCI) de 16 bits, portanto inicialmente, no sentido *downstream*, o OLT envia uma mensagem para o ONT notificando – a aceitar células contendo informações VPI/VCI.

Portanto, uma única fibra óptica pode ser utilizada na rede APON, tanto no sentido *upstream* como para o sentido *downstream*. Onde dois comprimentos de ondas são empregados, 1550nm para o *downstream* utilizando a técnica de multiplexação TDM e 1310 nm para o sentido *upstream* utilizando técnica de multiplexação como TDMA, estabelecendo o protocolo para suportar transmissão multiponto – ponto.

No ponto de vista econômico, a arquitetura PON possui a vantagem de reduzir os custos na construção de redes de acesso, aumentando a largura de banda óptica disponível, sem a necessidade de incluir equipamentos e componentes ópticos na rede.

4.4 BPON

Consiste em uma configuração de rede baseada na rede APON. Nas especificações da PON utilizadas pela FSAN, utiliza-se o ATM como uma segunda camada de sinalização.

O uso da rede APON faz acreditar que apenas os serviços ATM podem ser providos para o uso de serviços. Em função disso a FSAN modificou o nome para *Broadband* PON ou BPON. O sistema oferece vários serviços de acesso a Ethernet e distribuição de vídeo. O BPON acrescenta suporte para WDM, alocação de banda em *upstream* é alocada mais rápida, dinâmica e durável, como é apresentado na figura 16.

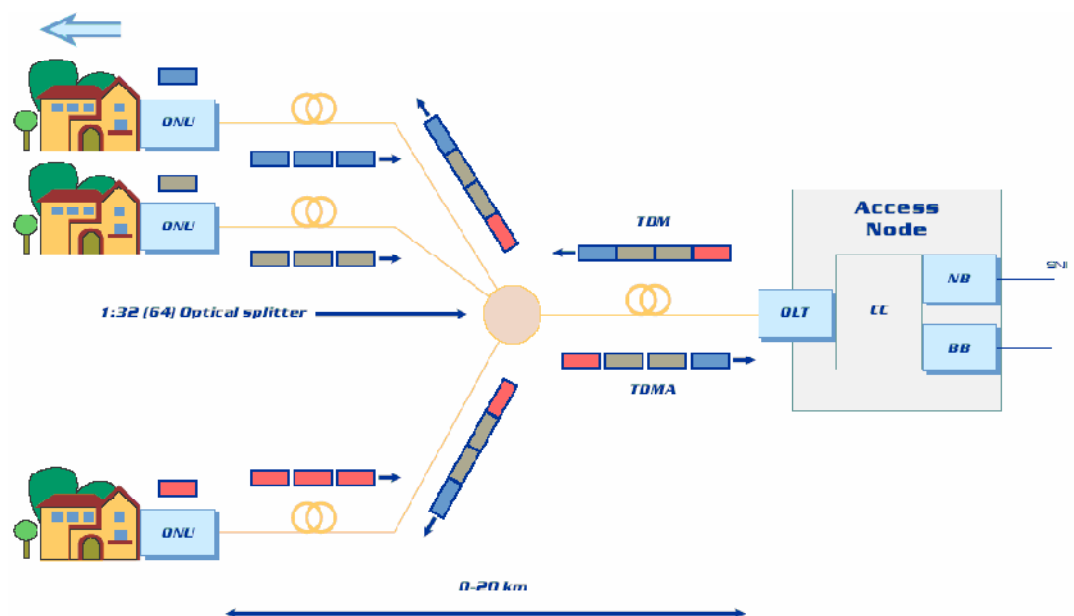


Figura 16: Apresentação de uma rede BPON

Fonte: [5]

4.5 EPON

No ano de 2001 a IEEE formou uma comissão de trabalho, denominado *Ethernet* na primeira milha (*Ethernet in the first Mile-EFM*). O objetivo desta comissão é ampliar a aplicação de

Ethernet nas redes de acesso a usuários. Por possuir uma característica de baixo custo é de arquitetura fácil, podendo assim possibilitar a utilização deste sistema de menor custo em PON's.

Em julho de 2004 foi aprovada pela EFM a arquitetura para fibra óptica na topologia ponto-multiponto baseada na tecnologia *Ethernet*.

Os elementos passivos de uma rede EPON, estão alocados em uma rede de distribuição óptica, conhecida como *outside plant*, onde inclui fibras monomodo, divisores ópticos, figura 17. O OLT e os vários ONU's estão alocadas nos finais de cada PON.

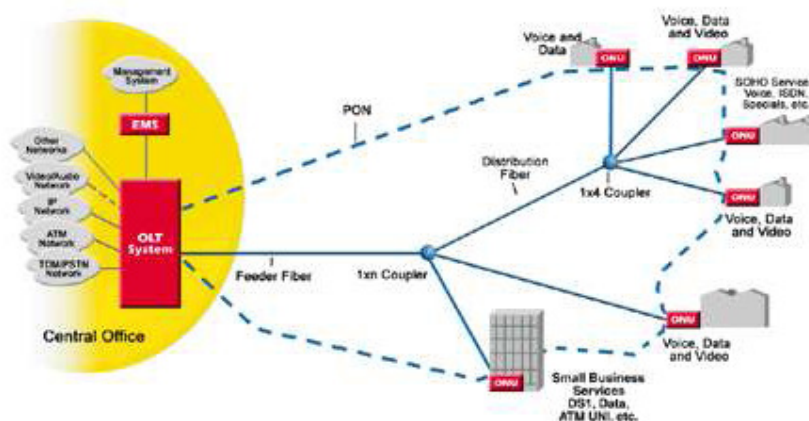


Figura 17: Representação de uma rede EPON

Fonte: [5]

Redes EPON são arquiteturas mais simples, eficientes e mais baratas para acesso de multiserviços. As principais vantagens são maior largura de banda, podendo a velocidade de transmissão de dados chegar acima de 1.25 Gbps, com isso gerando mais vantagens como baixos custo de implantação, conseguido através de arquitetura simples, obtendo maior eficiência da rede e menor custo de manutenção.

A diferença entre EPON e APON consiste no fato de que o EPON transmite os dados em pacotes de tamanho variável de até 1.518 bytes, dependendo do protocolo IEEE 802.3, enquanto

protocolo APON transmite dados de forma de pacotes fixo cada pacote transmitido em APON é de 53 bytes.

A diferença entre esses dois protocolos é a dificuldade e ineficiência do protocolo APON no quesito de transporte é transmissão de dados, formatado de acordo com IP. As sinalizações do protocolo IP para transmissão de dados devem ser segmentadas em pacotes de tamanho variável de até 65.535 bytes. Para APON sinalizar a transmissão IP, os pacotes de dados precisam ser quebrados em segmentos de 48 bytes sendo 5 bytes de cabeçalho (*controle*). Esse processo consome mais tempo e gera custos ao OLT e ONU. Além disso cada 5 bytes de cada segmento gera um custo maior na transmissão comparado ao EPON que reduz drasticamente em relação à arquitetura ATM.

EPON (*Ethernet- PON*) utiliza padrão IEEE 802.3ah, que é baseada na arquitetura Ethernet. EPON funciona no modo *full-duplex*, não necessitando do protocolo CDMA/CD, que funciona como detecção de colisão de dados. Na arquitetura EPON as ONU's enxergam somente o tráfego vindo da OLT, portanto não podem enxergar o tráfego transmitido por outras ONU's através de fibra compartilhada. A figura 18 representa uma rede EPON com OLT conectado ao divisor óptico passivo com as respectivas ONU's.

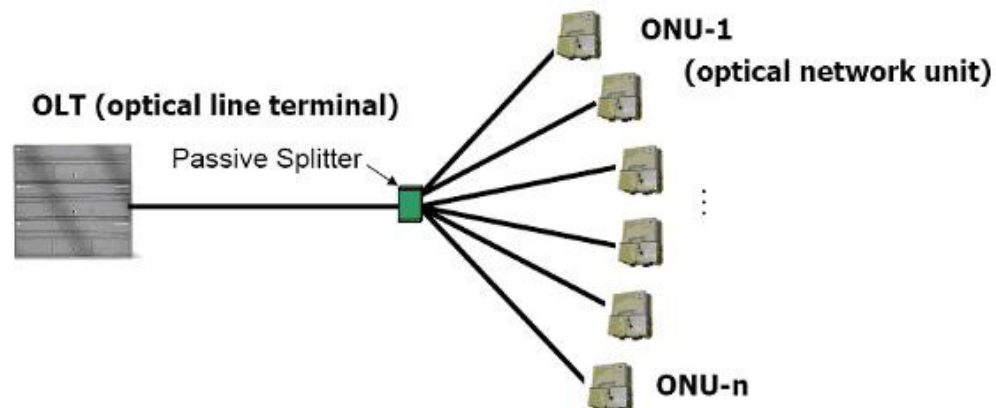


Figura 18: Representação rede EPON

Fonte: [7]

No modo *full-duplex* a rede EPON multiplexam os sinais para transmissão em *downstream* da OLT para as ONU's e das ONU's para OLT transmitem sinal em *upstream*, usando diferentes comprimentos de onda, sendo 1.490 nm em sentido *downstream* e 1.310 nm no sentido upstream.

4.5.1 PROTOCOLO MPCP (MULTI-POINT CONTROL PROTOCOL)

O Protocolo MPCP é utilizado para controlar rede EPON, sendo responsável pelo controle de largura de banda utilizada para cada usuário, auto-descoberta (*Auto-Discovery*) e *ranging* (busca ou telemetria). É definido dentro da camada MAC, criando cinco novas mensagens do controle MAC de 64 bytes [7]:

- GATE REPORT: estabelece e solicita largura de banda de transmissão.
- REGISTER_REG, REGISTER, REGISTER_ACK: usado durante o processo de auto-Discovery

As características seguintes podem ser aplicadas a MPCP:

- Utiliza quadros Ethernet padrão.
- A OLT transmite os quadros Ethernet para as ONU's em *broadcast*
- Cada ONU transmite em períodos, quando autorizadas expressamente através de quadros específicos enviados pela OLT.
- A OLT regula a largura de banda *upstream* designada a cada ONU através do controle do tamanho da janela de transmissão.
- Os quadros de controle são enviados na mesma conexão por onde trafegam os dados.

O *Auto-Discovery* é responsável por definir a distância entre a ONU e OLT (*ranging*), estabelecendo as temporizações de controle e determinar a largura de banda, é a Identificação do Link Lógico (*Logical Link ID-LLID*) a serem usados pela ONU.

O LLID é utilizado pela ONU para filtragem dos quadros recebidos, se um quadro está marcado com LLID igual ao designado para ONU, então é aceito, caso não seja designado para específica ONU, então é descartado. Existe também quadro LLID do tipo *broadcast*, onde são quadros com destino a todas as ONU's ao mesmo tempo.

O formato de transmissão LLID é embutida no preâmbulo de quadros MAC pelo protocolo MPCP, este cabeçalho possui 8 bytes de dados para endereçamento, sendo 1 bytes de início de pacote (*Start of Packet-SOP*), 2 a 4 bytes de *OAM, Msg, Reserved*, 2 bytes de LLID e 1 byte de checagem de redundância cíclica (*Cyclic Redundancy Check-CRC*), figura 19.

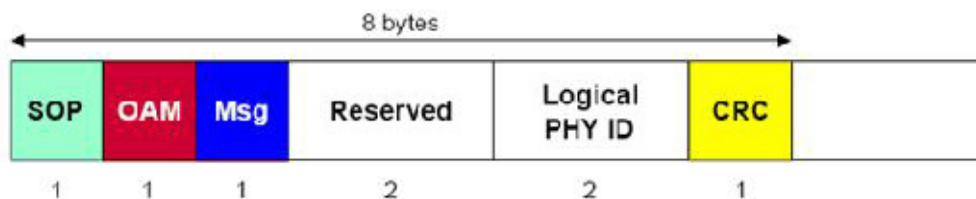


Figura 19: Formato do preâmbulo MAC no protocolo MPCP

Fonte: [7]

4.5.2. TRANSMISSÃO NO SENTIDO DOWNSTREAM

No sentido *downstream* os quadros *Ethernet* transmitidos pela OLT passam por um divisor óptico passivo 1:N, alcançando cada uma das ONU's respectivamente, sendo que a divisão da fibra está entre uma faixa de 4 a 64 usuários (ONU's). A OLT transmite quadros para todas ONU's, onde as ONU's recolhem os quadros destinados a ela através do LLID contido no preâmbulo. Mensagem de sinalização são enviados para se obter largura de banda necessária, são enviadas pela OLT com objetivo de estabelecer janela de transmissão, definindo largura de banda para cada ONU, figura 20.

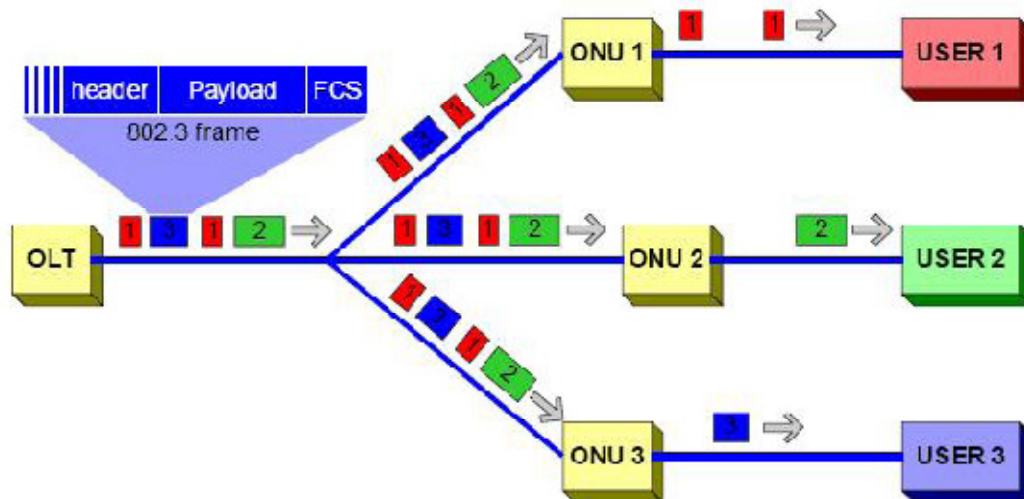


Figura 20: Transmissão de dados no sentido downstream

Fonte: [7]

A figura 21 apresenta os detalhes do funcionamento da mensagem GATE, ao receber uma mensagem com quadro GATE, a ONU faz o sincronismo do relógio interno para a indicação *timestamp* embutida no quadro.

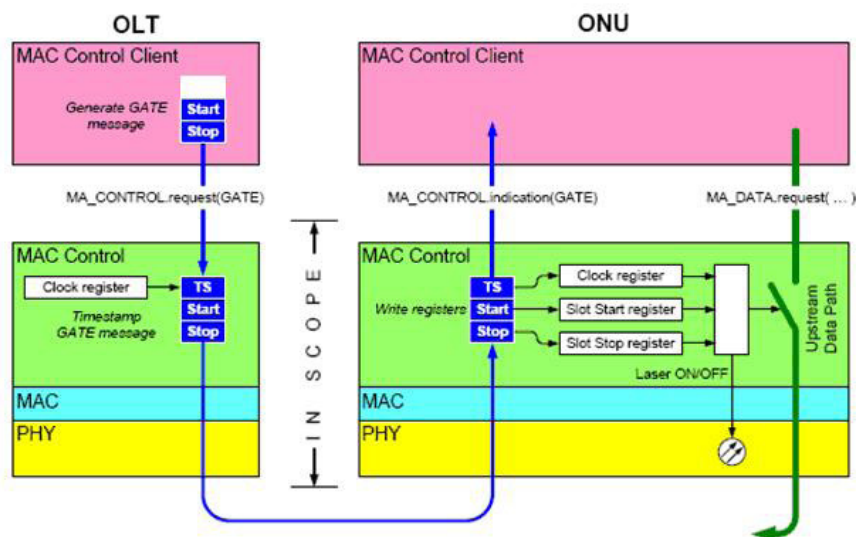


Figura 21: Caminho percorrido da mensagem Gate da OLT para ONU

Fonte:[7]

4.5.3. TRANSMISSÃO NO SENTIDO UPSTREAM

Na transmissão no sentido *upstream*, o protocolo MPCP faz uma sinalização da ONU's para OLT's, utilizando janelas de tempo, durante as quais cada ONU pode transmitir diversos quadros, incluindo mensagem tipo REPORT, contendo informações do estado da ONU para OLT, já que esta arquitetura não tem possibilidade de colisões de fragmentações de dados. O controle de largura de banda é feito por tamanho da janela de tempo, para transmissão para cada ONU. Quando a transmissão em *upstream* tiver toda largura de banda disponível efetiva, no padrão IEEE 802.3ah EPON a velocidade de transmissão será de 1 Gbps. Na figura 22, é mostrado o sentido de transmissão *upstream* onde os retângulos cinzas são janelas de tempo alocadas para cada ONU, e os quadros coloridos são os quadros de dados gerados pelos usuários.

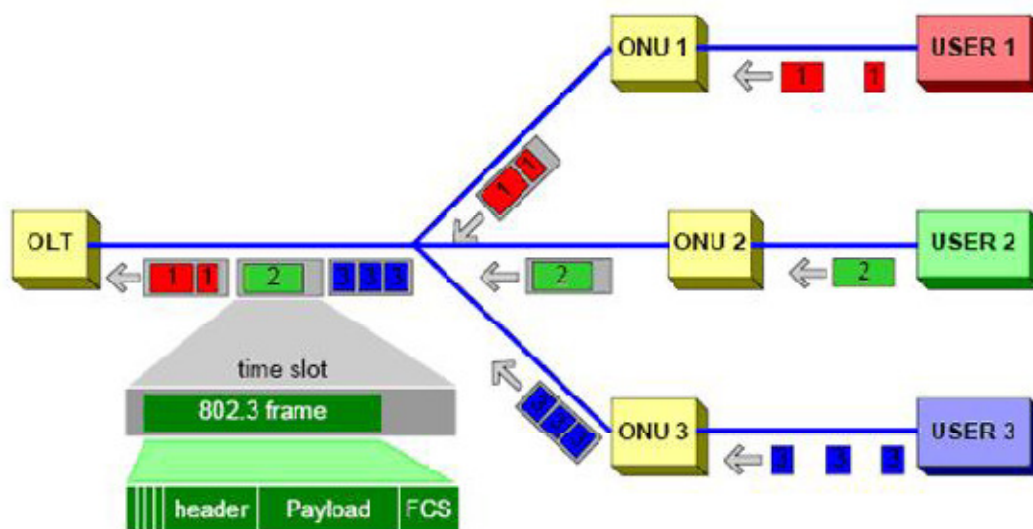


Figura 22: Transmissão de dados no sentido upstream

Fonte: [7]

Sinalização do tipo REPORT, gerados pela ONU's possuem um registro feito a partir de um relógio interno efetuado pela própria ONU, figura 23. Este registro é utilizado pela OLT para cálculo do tempo de transmissão de ida e volta (RTT – Round Trip Time) entre esta e a ONU, figura 23. O RTT é necessário para cálculo correto dos tamanhos de janela, temporizações, tempo de processamento feito pelo protocolo. A medição do tempo total de transmissão de ida e volta (RTT) é feita da seguinte forma:

1. A OLT transmite mensagem de sinalização para o GATE no T1
2. ONU recebe mensagem transmitida pela OLT, é o GATE possui o valor de tempo T1, e sincroniza relógio interno para T1.
3. ONU transmite mensagem de sinalização REPORT no tempo T2 do seu próprio relógio.
4. OLT recebe mensagem REPORT no tempo T3 referente a seu relógio interno.
5. OLT faz o cálculo da $RTT = T3 - T2$.

Este algoritmo funciona da seguinte forma, obtendo a diferença de tempo entre o envio da mensagem GATE e o recebimento da mensagem REPORT pela OLT, portanto, $T3 - T1$ subtrai-se a

diferença de tempo entre o recebimento da mensagem GATE e o envio da mensagem REPORT pela ONU, portanto $T2 - T1$, o que sobra justamente o tempo de transmissão de ida e volta, onde é observado pelos triângulos da figura 24, portanto:

$$RTT = (T3 - T1) - (T2 - T1) = T3 - T2.$$

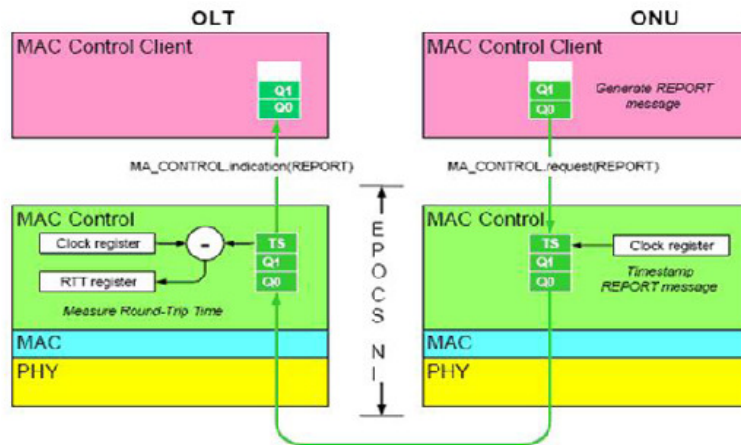


Figura 23: Caminho percorrido da mensagem REPORT da ONU para OLT

Fonte: [7]

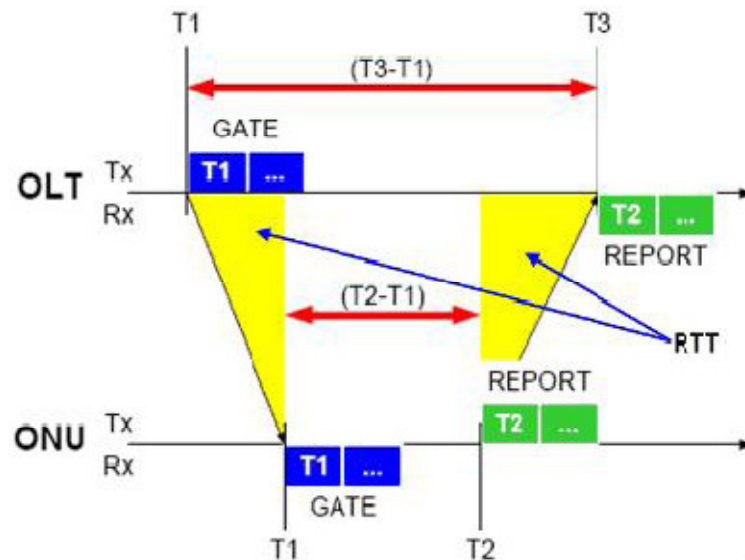


Figura 24: Cálculo do Round Trip Time (RTT)

Fonte: [7]

4.6 GPON

A rede GPON (*GigaBit- PON*), surgiu com os estudos da FSAN que decidiu padronizar as redes PON que operam com taxa de transmissão acima de 1 Gbps, com principal objetivo de suportar multiserviços e funcionalidades. Em 2003 foi padronizada pela ITU- T a tecnologia GPON, com a recomendação G 984. O protocolo estabelecido suporta várias velocidades em *downstream* e em *upstream*, sendo a mais típica de 1.25 Gbps em sentido *downstream* e 622 Mbps em sentido *upstream*. O GPON utiliza protocolo denominado GFP (*Generic Framing Control*), o objetivo deste protocolo é eliminar o máximo as edições que são feitas na rede ATM, o GFP emite quadros ou células de comprimento variável de 65.535 bytes em um quadro, onde na rede ATM, células são enviadas em segmentos de 48/53 bytes sendo menos eficiente. Portanto o GFP pode ser considerado quase tão eficiente quanto á rede EPON.

O padrão GPON G.984 define distâncias físicas que variam de 10 km a 20 km da OLT para as respectivas ONU ou ONT. A rede GPON pode ser demultiplexada para ate 64 usuários, onde num futuro próximo a quantidade de usuários pode chegar a 128 usuários em uma mesma OLT.

O formato de quadro de transmissão de dados no sentido downstream funciona de seguinte forma: um quadro (*frame*) tem uma duração constante de 125 μ s para velocidade de transmissão de 1.2 Gb/s e 2.4 Gb/s, e possui um cabeçalho de 19440 bytes e 38880 bytes como e visto na figura 25.

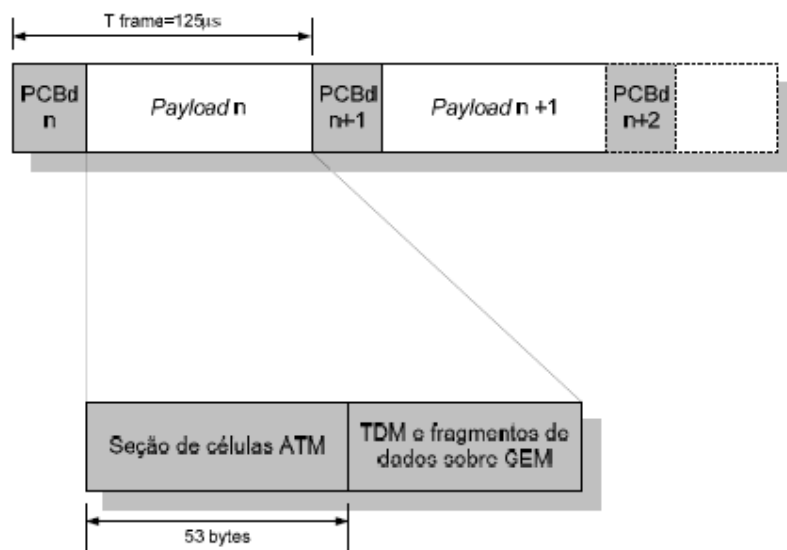


Figura 25: Formato de quadro no sentido downstream

Fonte: [8]

O bloco de controle físico (*PCBd: Physical Control block for downstream*) é usado para um canal de distribuição que contém vários campos que são transmitidos para todas as ONU's no formato *broadcast*. Desta maneira cada ONU recebe *PCBd* e faz o cálculo de informação no conteúdo do campo. As características do campo *PCBd* podemos ver logo abaixo, figura 26:

- *Psync*- sincronização física possui comprimento de 32 bits;
- *Ident* campo de identificação possui comprimento de 32 bits;
- *PLOAMd* é responsável em administrar e gerenciar a camada física no sentido de transmissão *downstream*, este campo carrega mensagem *PLOAM* de comprimento de 13 bytes;
- *Plend* este campo possui comprimento de 32 bits e;
- *BW map* campo responsável do mapa de largura de banda, onde contém um arranjo de estruturas de 8 bytes.

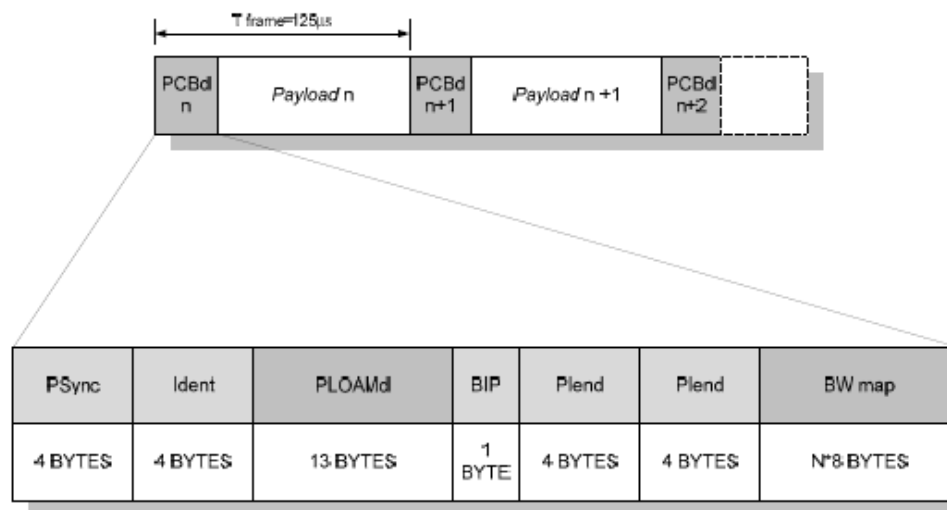


Figura 26: Formato do quadro de controle PCBd

Fonte:[8]

O formato de quadro de transmissão de dados no sentido *upstream* funciona de seguinte forma, um quadro (*frame*) tem uma duração constante de 125 μs para velocidade de transmissão de 1.2 Gb/s e 2.4 Gb/s, e possui um cabeçalho de 19440 bytes e 38880 bytes. O canal de retorno da

transmissão consiste em uma série de quadros (*frames*) individuais que se origina da ONU. Cada quadro que se origina da ONU é conhecida como rajada, essas rajadas contém um cabeçalho de informação, *PLOu* (*Physical Layer Overhead of Upstream*) onde é adicional ao *payload* do cliente que contém um campo opcional de *PLOAM upstream* (*PLOAMu*), a um campo de sequência de equilíbrio de potência de *upstream* (*PLUs*), e o campo *DBRu* responsável pelo reporte dinâmico de largura de banda.

O quadro de *upstream* possui duração de 125 μ s, a duração é o mesmo no sentido em *downstream*, cada quadro possui um número arbitrário de transmissões de uma ou mais ONU's, os quadros são organizados pelo campo BWmap. Portanto, cada período de alocação de transmissão a ONU pode transmitir um quadro de dados de usuários ou enviar os campos de controle como podemos ver na, figura 27. As características de cada campo são:

- *PLOu* é um campo de comprimento variável, dependendo da alocação de cada ONU;
- *PLOAMu* possui campo de 13 bytes de comprimento;
- *PLSu* campo de 120 bytes de comprimento, opcional;
- *DBRu* campo de comprimento variável, depende da alocação dinâmica de largura de banda GPON.

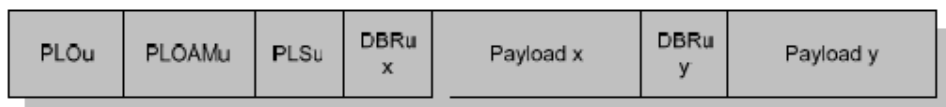


Figura 27: Formato de quadro no sentido upstream

Fonte:[8]

A OLT sinaliza através de sinais no campo BWmap se os campos opcionais *PLOAMu*, *PLUs* ou *DBRu* devem ser enviados e em qual alocação de banda.

Para estabelecer a alocação de banda é necessário obter a frequência de transmissão, onde a OLT necessita ter os dados da demanda de largura de banda e a latência dos campos auxiliares.

5. REDES ÓPTICAS NO MUNDO

O primeiro teste de FTTH no mundo ocorreu no Japão em 1977, na cidade de Higashi-Ikoma. Com um total de 168 usuários, entregando serviços interativos de vídeo e serviços de telecomunicações.

No final da década 1980, empresas de telecomunicações de alguns países europeus e do sudeste asiático estavam se preparando para instalar redes ópticas até o usuário, mas problemas como alto custo de implantação e pequena oferta de serviços ao usuário retardaram os investimentos. Na visão geral os testes com redes ópticas FTTH foram bem sucedidos tecnicamente, o principal problema foi o custo de sua implantação.

Na década de 1990, várias empresas estudaram se deveria implantar FTTH em substituição à rede de cobre existente, o que se mostrou inviável pelo alto custo de implantação. Todavia, muitos visionários da época reconheciam a importância da fibra óptica nas residências, onde a implantação, segundo eles, deveria ocorrer o mais rapidamente possível.

O progresso tecnológico de componentes para os sistemas FTTH começou a acelerar como consequência da expansão dos grandes *backbones* de fibras ópticas que foram instalados na década de 90. Mas o principal componente do transmissor óptico, o laser de semicondutor, ainda apresentava custo muito elevado o que fez com que os projetistas de redes FTTH mudassem a arquitetura da rede da configuração ponto-a-ponto para uma arquitetura passiva (PON) que são utilizadas até hoje.

A tecnologia FTTH já existe a mais de 30 anos, mas a adoção de arquiteturas FTTH vem crescendo significativamente ao redor do mundo nos últimos anos, e a iniciativa maior tem sido por parte das grandes operadoras de telefonia em alguns países (Japão e Coreia) e em outras (Estados Unidos e Europa Ocidental) por pequenas e novas companhias, que vislumbram nessa tecnologia uma grande oportunidade de implantar novos e sofisticados serviços.

Atualmente países que detêm maior quantidade de assinantes FTTH, são países desenvolvidos, como Coreia do Sul, Japão e Estados Unidos. Segundo o relatório do *IDATE*, os líderes do mercado de banda larga óptica FTTH, são os países asiáticos Japão e Coreia do Sul e em

terceiro lugar o mercado americano com participação de 16% no mercado mundial em acesso a fibra óptica. [10]

Do ano de 2006 a 2007 houve um crescimento de 30% no número de assinantes em países europeus, chegando a mais de um milhão de assinantes.

O país líder em número de assinantes de FTTH em domicílios, com uma taxa de 10.8% é a Suécia. Os países da Europa Ocidental, como Alemanha, Reino Unido, França e Espanha estão atrasadas na implantação de acesso óptica de banda larga, estando presente em menos de 1% nos domicílios, logo abaixo na figura 28, podemos observar números de assinantes nos principais países. [11]

Como podemos ver na Europa, a situação alterou bem menos em números de assinantes de FTTH. Isto ocorre porque muitas empresas de telecomunicações mantêm uma postura de cautela, elas se esforçam em investir mais em centros urbanos e áreas com alta densidade populacional, no entanto no resto no mundo a situação é diferente.

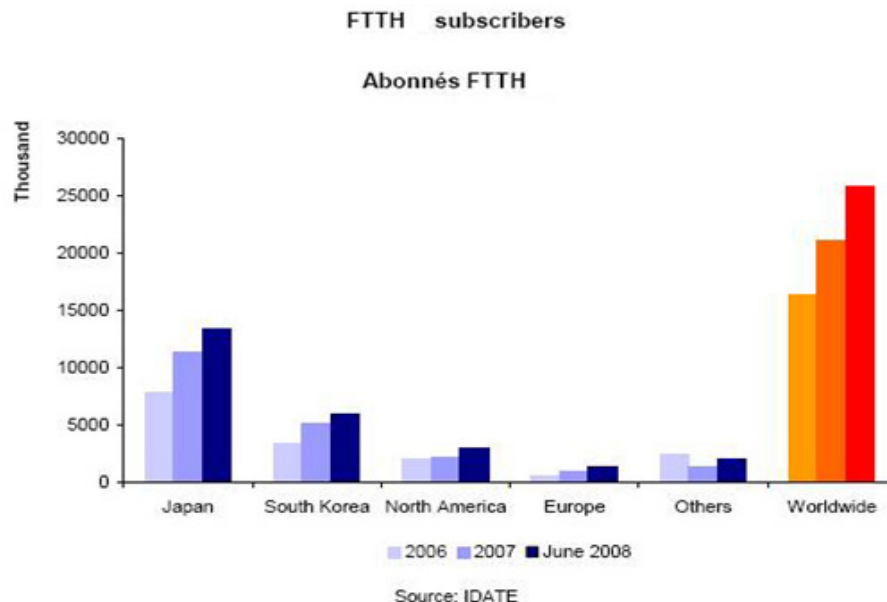


Figura 28: Usuários de FTTH nos principais países

Fonte:[12]

O número de assinantes com sistema FTTH cresceu 15% nos primeiros seis meses de 2009, totalizando um total de 5.5 milhões de novos assinantes em todo o mundo. Em termo de novos assinantes no mundo, países que lideram novos usuários do sistema FTTH são países como China, Japão e Estados Unidos, com quase 800.000 novos usuários, isso no primeiro semestre de 2009, [13]

A previsão de novos assinantes de FTTH no mundo aumente, chegando ao valor próximo de 130 milhões de usuários até o ano de 2013, figura 29.

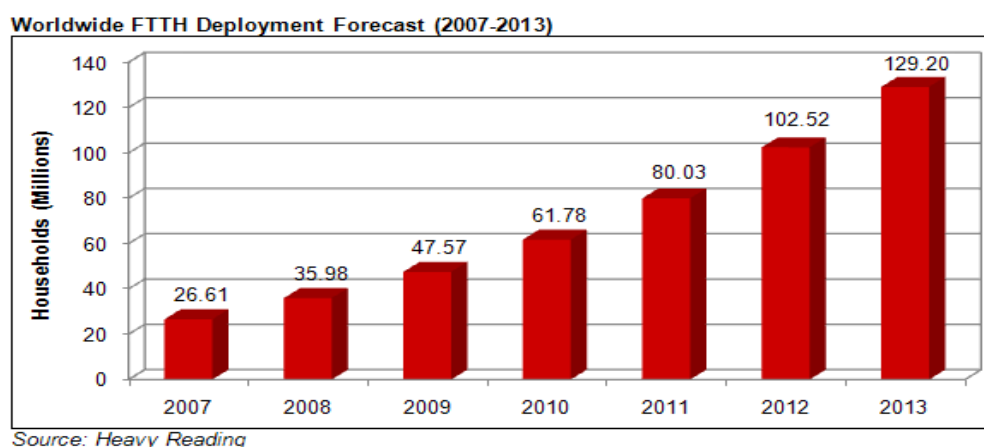


Figura 29: Estimativa de usuários de FTTH

Fonte: [12]

Em um levantamento feito pela consultoria *Heavy Reading*, apura que nos próximos cinco anos a Ásia será a maior usuária das conexões FTTH com um total de 85 milhões de domicílios conectados. No continente americano terão 23 milhões de usuários conectados a FTTH, sendo a maior parte nos Estados Unidos. Países Europeus, Africanos e o Oriente Médio participariam com um total de 24 milhões de usuários conectados.

No Brasil as redes FTTH ainda não foram implantadas, existindo apenas alguns projetos piloto em andamento, como da Telefônica, em São Paulo, que oferece banda larga por fibra óptica com velocidade de 30 Mbps, e a operadora de telefonia fixa e banda larga GVT que está oferecendo

banda larga por fibra óptica com velocidades de até 100 Mbps. As taxas cobradas são muito altas e poucos serviços estão sendo oferecidos.

O grande crescimento de novos usuários no mundo, principalmente em países como Japão, Coréia e E.U.A, ocorre pela maior oferta de serviços, principalmente na área de entretenimento e *home office*. Desse modo, os usuários buscam não apenas maior velocidade de conexão, mas também novas possibilidades de entretenimento, trabalho, aprendizado e relacionamento social.

6. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo principal apresentar a tecnologia FTTH e as redes PON que suportam o sistema FTTH. Atualmente redes que utilizam cabos de fios de cobre, ADSL e redes sem fio não suprem a necessidade de demanda de largura de banda que muitos serviços exigem. O uso de PON's resulta numa relação custo/benefício atraente tanto para as empresas prestadoras de serviços de telecomunicações como para o usuário doméstico. A arquitetura FTTH é atraente por levar fibra óptica diretamente até a residência individualmente, sendo completamente livre de fios de cobre na planta exterior da rede, fornecendo velocidade típicas de 30Mbps a 100 Mbps, podendo alcançar velocidades de Gbps nos novos sistemas.

Tudo indica que a evolução futura do mercado de telefonia seja nessa direção, com a fibra até a casa do usuário, disponibilizando uma grande gama de serviços como *cloud computing*, *home office*, vídeo sob demanda, *gaming* e uma ampla gama de possibilidades de entretenimento, como já ocorre atualmente em alguns países, abrindo para as empresas fornecedoras de serviços uma vasta área de oportunidades.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Takeuti, P. PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE REDES ÓPTICAS PASSIVAS. São Carlos, 2005. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo
- [2] Pew/Internet - HOME BROADBAND ADOPTION 2008 - Disponível em :<www.pewinternet.org/~media/Files/.../2008/PIP_Broadband_2008.pdf>. Acessado em: 20 setembro de 2009, 10h07min: 51
- [3] Tanenbaum A.S. Redes de Computadores. 4ª Ed. Editora Elsevier, 2003. 889 páginas
- [4] Arbieto, C.O.C. ALOCAÇÃO DINÂMICA DE LARGURA DE BANDA EM REDES EPON. São Carlos 2007. 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.
- [5] Oliveira, L.B.L.M.C.A. ESTUDO DE UMA REDE DE ACESSO VIA FIBRA ÓPTICA. Brasília 2006. 114f. Projeto final de graduação em Engenharia Elétrica – Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília.
- [6] FTTH EXPLAINED: DELIVERING EFFICIENT CUSTOMER BANDWIDTH and ENHANCED SERVICES- Disponível em:,<www.corning.com/WorkArea/downloadasset.aspx?id=10889>. Acessado em: 12 setembro de 2009, 22h32min:43
- [7] ETHERNET PASSIVE OPTICAL NETWORK (EPON) – Disponível em:<www.networks.cs.ucdavis.edu/~mukherje/links/gk_wiley_bc.pdf >. Acessado em 20 outubro de 2009, 13h35min:45
- [8] Bonilla, M.L. ANÁLISE CRÍTICA DE PLATAFORMAS GPON e EPON para APLICAÇÃO EM REDES ÓPTICAS de ACESSO DE ALTA CAPACIDADE. Campinas 2008. 103f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)- Universidade Estadual de Campinas.
- [9] FTTX WORLD MARKET:140 MILLION SUBSCRIBERS WORLDWIDE BY 2014, SAYS REPORT – Disponível em:,<http://www.eurocomms.com/online_press/113190/FTTx_World_Market:_140_million_by_2014_says_report.html>. Acessado em 20 de novembro de 2009, 22h27min:31
- [10] IDATE UPDATES INVENTORY OF FTTH IN EUROPE Disponível em:,<<http://fibresystems.org/cws/article/newsfeed/37767>>. Acessado em 28 de novembro de 2009 23h43min:12
- [11] Asia concentra el 80% de los usuarios de fibra óptica de todo el mundo Disponível em:,<http://www.tendencias21.net/Asia-concentra-el-80-de-los-usuarios-de-fibra-optica-de-todo-el-mundo_a2966.html>. Acessado em 02 de dezembro de 2009 23h54min:2
- [12] GLOBAL FTTH SUBSCRIBER GREW 15% IN FIRST HALF OF 2009

– Disponível em: <<http://www.lightwaveonline.com/business/market-research/news/Global-FTTH-subscribers-grew-15-in-first-half-of-2009-63156057.html>>. Acessado em 04 dezembro de 2009 23h43min:43