

Universidade Federal do Rio de Janeiro

**Instituto Tércio Pacitti de Aplicações e
Pesquisas Computacionais**

Glauco Salino da Cunha Araujo

FIBER-TO-THE-HOME (FTTH):

**Estudo sobre aumento de banda
passante nas redes de acesso com
uso de redes ópticas passivas**

Rio de Janeiro

2016

Glauco Salino da Cunha Araujo

FIBER-TO-THE-HOME (FTTH):

**Estudo sobre aumento de banda passante nas
redes de acesso com uso de redes ópticas
passivas**

Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista em Gerência de Redes de Computadores no Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Gerência de Redes de Computadores e Tecnologia Internet do Instituto Tércio Pacitti de Aplicações e Pesquisas Computacionais da Universidade Federal do Rio de Janeiro – NCE/UFRJ.

Orientador:

Claudio Miceli de Farias, D.Sc., UFRJ, Brasil

Rio de Janeiro

2016

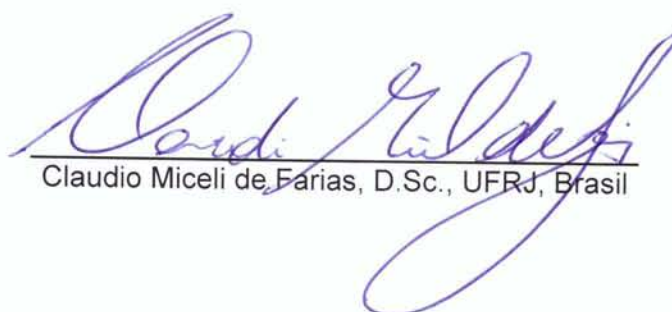
Glauco Salino da Cunha Araujo

FIBER-TO-THE-HOME (FTTH):

**Estudo sobre aumento de banda passante nas
redes de acesso com uso de redes ópticas
passivas**

Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista em Gerência de Redes de Computadores no Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Gerência de Redes de Computadores e Tecnologia Internet do Instituto Tércio Pacitti de Aplicações e Pesquisas Computacionais da Universidade Federal do Rio de Janeiro – NCE/UFRJ.

Aprovada em março de 2016.



Claudio Miceli de Farias, D.Sc., UFRJ, Brasil

Aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por permitir dentro de sua magnitude que eu tenha força para que possa permanecer tenaz e vontade para que eu persevere por novas respostas profissionais, fazendo-me indiferente a qualquer dificuldade que venha a surgir diante do dia-a-dia.

A minha esposa Aline, por estar sempre ao meu lado, maior de todas as companheiras, paciente e dedicada, que ao longo de toda a trajetória deste curso de especialização, acompanhou-me aos sábados pela manhã no trajeto à UFRJ onde dedicava-se também aos seus estudos no campus universitário e principalmente durante os últimos meses, nos quais permaneci empenhado ao longo das noites e durante inúmeros finais de semanas dedicando-me a realização desta monografia.

Ao professor Claudio, que dedicou seu tempo e atenção, não somente à leitura, correção e orientação para a execução deste trabalho, mas também ao exercício do magistério nas aulas por ele ministradas ao longo do curso.

Ao professor Moacyr, por proporcionar a oportunidade de realização deste curso e por demonstrar ao longo de todo este percurso seu alto nível de profissionalismo na coordenação de todas as atividades do MOT-CN.

A professora Carla que fez parte do início da redação desta monografia na disciplina por ela ministrada.

Por fim, a todos os estimados colegas da classe MOT-CN 2014, que compartilharam experiências e conhecimentos que certamente foram formadores de alguns dos alicerces cognitivos que sustentaram a elaboração deste trabalho. Em especial ao colega João, por sugerir o uso da ferramenta *OPNET® modeler* como uma das possíveis maneiras para realizar a simulação da rede.

RESUMO

ARAUJO, Glauco Salino da Cunha. **FIBER-TO-THE-HOME (FTTH): estudo sobre aumento de banda passante nas redes de acesso com uso de redes ópticas passivas**. Monografia (Especialização em Gerência de Redes e Tecnologia Internet). Instituto Tércio Pacitti de Aplicações e Pesquisas Computacionais, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2016.

O aumento exponencial no tráfego de dados na Internet impõe novos desafios para os sistemas de telecomunicações. Entretanto, há um complexo cenário a ser estudado pelos desenvolvedores destas tecnologias. Há necessidade de se aliar o compromisso em atender aos interesses das operadoras de telefonia, em aumentar suas receitas líquidas e os interesses dos clientes, que buscam cada vez mais obter uma maior taxa de transmissão de dados. Em face a esta nova realidade, diversas soluções têm sido discutidas no âmbito das comunicações ópticas. Dentre elas encontra-se a tecnologia FTTH (*Fiber To The Home*), a qual tem sido creditada como uma das principais opções para proporcionar o aumento de largura de banda nas redes de acesso, grande gargalo da Internet atual. Desta forma, no presente trabalho, é realizado um estudo sobre as tecnologias ópticas existentes, evidenciando o uso das PONs (*Passive Optical Networks*), que proporcionam uma redução nos custos de implementação da tecnologia FTTH com uso de uma arquitetura ponto-multiponto nas redes de acesso. De maneira geral, prova-se a viabilidade do uso das PONs no ambiente FTTH em substituição à xDSL (*Digital Subscriber Line*).

ABSTRACT

ARAUJO, Glauco Salino da Cunha. **FIBER-TO-THE-HOME (FTTH): estudo sobre aumento de banda passante nas redes de acesso com uso de redes ópticas passivas**. Monografia (Especialização em Gerência de Redes e Tecnologia Internet). Instituto Tércio Pacitti de Aplicações e Pesquisas Computacionais, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2016.

The exponential increase in data traffic on the Internet imposes new challenges for telecommunications systems. However, there is a complex scenario to be studied by the developers of these technologies. There is need to combine the commitment to serve the interests of the operators, to increase its net revenue and the interests of customers, who increasingly seek to obtain a higher data transmission rate. In the face of this new reality, several solutions have been discussed in optical communications. Among them is the FTTH (Fiber To The Home), which has been credited as one of the main options to provide increased bandwidth in access networks, major bottleneck of current Internet. Thus, in the present work, a study was conducted on existing optical technologies, demonstrating the use of PONs (Passive Optical Networks), which provide a reduction in implementation costs of FTTH technology with uses a point-to-multipoint architecture in the access networks. Overall, it demonstrates the feasibility of using the FTTH PONs environment to replace xDSL (Digital Subscriber Line).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Largura de banda fornecida em função da distância considerando o uso das tecnologias xDSL [17].....	19
Figura 2.1 – Grandes categorias de redes que vão de LANs até WANs [18].....	28
Figura 2.2 – Definições de alguns termos empregados na descrição de redes públicas [18]	31
Figura 2.3 – Alguns termos utilizados para descrever localização de equipamentos e cabos em uma rede óptica passiva (PON) [18].....	34
Figura 2.4 – Rede de acesso simplificada [18].....	35
Figura 2.5 – Siglas utilizadas nas bibliografias para definição dos vários tipos de instalações em uma rede de acesso [18]	38
Figura 2.6 – Breve demonstração de redes ópticas passivas [19]	47
Figura 3.1 – Arquitetura básica de uma BPON [18]	54
Figura 3.2 – Um único OLT gerenciando 22 BPONs distintas simultaneamente [18]	57
Figura 3.3 – Formato do frame <i>downstream</i> de uma BPON na taxa de 155,52 Mbps [18]	59
Figura 3.4 – Formato de frame <i>upstream</i> BPON para taxa de 155,52 Mbps [18]	60
Figura 3.5 – Serviço de sobreposição de vídeo para assinantes BPON [18]	63
Figura 3.6 – Cenário de alocação fixa de largura de banda em uma BPON [18].....	64
Figura 4.1 – Três diferentes esquemas de camada física para EFM [18]	70
Figura 4.2 – Arquitetura básica de uma EPON [18]	71
Figura 4.3 – Formato de um frame Ethernet padrão [18]	73
Figura 4.4 – Formato do <i>frame</i> EPON [18].....	74
Figura 4.5 – Mensagens de controle REPORT e GATE em um EPON [18]	78
Figura 4.6 – Estabelecimento da temporização global em uma EPON [18].....	79
Figura 5.1 – Características e arquitetura de uma GPON [18].....	82
Figura 5.2 – <i>Links</i> de proteção de redundância completa 1 + 1 GPON [18]	85
Figura 5.3 – procedimento de proteção de redundância parcial 1 : n GPON [18].....	86
Figura 5.4 – Tempo de proteção – <i>guard time</i> – entre rajadas consecutivas de pacotes [18]	90
Figura 5.5 – Sucessivos pacotes chegando ao OLT, oriundos de diferentes ONTs contendo ampla variação em seus níveis de potência óptica [18].....	91
Figura 5.6 – Três segmentos do formato do quadro de uma GPON [18]	93
Figura 5.7 – Estrutura do campo do mapa US BW [18]	95
Figura 5.8 – Campo mapa US BW <i>downstream</i> e repostas <i>upstream</i> que se seguem [18]	96
Figura 5.9 – Formato e estrutura do cabeçalho de um <i>frame upstream</i> [18].....	99
Figura 5.10 – Os quatro campos do cabeçalho e o <i>payload</i> de um segmento gem [18]	100
Figura 6.1 – Caminho evolutivo das tecnologias pon em direção à NG-PON [20] ..	104
Figura 6.2 – Tecnologias requeridas para coexistência de 10G-EPON e EPON [20]	108
Figura 6.3 – Cenário de migração de tecnologia GPON para XG-PON1 [20]	108
Figura 6.4 – Modelo de referência em alto nível de uma X-GPON [16]	109
Figura 7.1 – Resumo das arquiteturas FTTH [16]	111
Figura 7.2 – Estrutura FTTH em seus cinco distintos estágios [27]	118
Figura 7.3 – Distintas arquiteturas com fatores de divisão dependentes da densidade habitacional da área [27]	119

Figura 7.4 – Rede de alimentação com topologia em árvore [27]	123
Figura 7.5 – Projeto ideal de rota de alimentação [27]	124
Figura 7.6 – Dimensionamento de uma árvore de alimentação [27]	126
Figura 7.7 – Áreas de pontos concentradores de fibras (FCPS) e áreas secundárias das redes de distribuição [27].....	127
Figura 7.8 – Rede de distribuição em áreas secundárias de uma rede de acesso [27]	129
Figura 7.9 – Rede de transmissão/dispersão em cabo de elevação vertical [27]....	131
Figura 7.10 – Custos envolvidos para um projeto FTTH [3]	136
Figura 7.11 – Perspectiva de custos operacionais para manter a rede ativa e funcionando [3].....	137
Figura 7.12 – Custo para provisionamento de serviço [3]	137
Figura 8.1 – Tráfego global de video conferência enviado no cenário VDSL.....	143
Figura 8.2 – Tráfego global de video conferência recebido no cenário VDSL.....	144
Figura 8.3 – Tráfego global de voz enviado no cenário VDSL	145
Figura 8.4 – Tráfego global de voz recebido no cenário VDSL	145
Figura 8.5 – Taxa global de pacotes de voz enviados e recebidos no cenário VDSL	146
Figura 8.6 – Utilização do enlace entre DSLAM x modem e modem x servidor para o cenário VDSL	147
Figura 8.7 – Screenshot <i>OPNET® modeler</i> do processo de simulação para o cenário FTTH	148
Figura 8.8 – Tráfego global de video conferência enviado no cenário FTTH	148
Figura 8.9 – Tráfego global de video conferência recebido no cenário FTTH.....	149
Figura 8.10 – Tráfego global de voz enviado e recibo no cenário FTTH.....	150
Figura 8.11 – Comparativo de tráfego global de voz recebido nos cenários FTTH (azul) e VDSL (vermelho)	151
Figura 8.12 – Comparativo de tráfego global de vídeo recebido nos cenários FTTH (azul) e VDSL (vermelho)	151
Figura 8.13 – Screenshot <i>OPNET® modeler</i> do processo de simulação para o cenário VDSL	152
Figura 8.14 – Tráfego global de video conferência transmitido no segundo cenário VDSL.....	153
Figura 8.15 – Tráfego global de video conferência recebido no segundo cenário VDSL	153
Figura 8.16 – Tráfego global de voz transmitido no segundo cenário VDSL.....	154
Figura 8.17 – Tráfego global de voz recebido no segundo cenário VDSL	154

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Estimativa de consumo de tráfego global mensal da Internet [5]	17
Tabela 2.1 – Especificações xDSL [3].....	39
Tabela 2.2 – Principais tecnologias pons e algumas de suas características [18]	51
Tabela 3.1 – Definições de T-CONTS e seus respectivos serviços [18]	67
Tabela 5.1– Requisitos de serviços para GPONs [18]	83
Tabela 5.2 – Características chaves na camada dependente do meio físico GPON [18]	88
Tabela 6.1 – Características principais dos padrões PON [20]	106
Tabela 7.1 – Número de fibras por cabo e tubos soltos para rede de distribuição [27]	129
Tabela 8.1 – Características do tráfego de vídeo a ser simulado [OPNET® modeler]	141
Tabela 8.2 – Características do tráfego de voz a ser simulado [OPNET® modeler]	142
Tabela 8.3 – Características do tráfego de dados a ser simulado [OPNET® modeler]	142
Tabela 8.4 – Características de perfis de uso a serem simulados [OPNET® modeler]	142
Tabela 8.5 – Representação adotada para leitura dos resultados	150

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

10G-EPONs	10 Gigabits Ethernet Passive Optical Networks
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
ADSL2	Asymmetric Digital Subscriber Line Version 2
ADSL2+	Asymmetric Digital Subscriber Line Extended Bandwidth Version 2
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AWG	Arrayed Waveguide Grating
BPONs	Broadband Passive Optical Networks
CAGR	Compound Annual Growth Rate
CapEx	Capital Expenditures
CO	Central Office
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplexing
DBA	Dynamic Bandwidth Allocation
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
DTM	Discrete Multi Tone
EFM	Ethernet In The First Mile
EPONs	Ethernet Passive Optical Networks
FCS	Frame Check Sequence
FDF	Fiber Distribution Frames
FSAN	Full Service Access Network
FTTB	Fiber To The Building
FTTC	Fiber To The Curb
FTTH	Fiber To The Home
FTTH/P	Fiber To The Home/Premise
FTTN	Fiber To The Neighborhood/Node
FTTO/B	Fiber To The Office/Business
FOTP	Fiber To The Premises
GPLv2	General Public License Version 2
GPONs	Gigabit Capable Passive Optical Networks
HDSL	High Bit Rate Digital Subscriber Line
HDTV	High Definition Television
IDSL	Integrated Digital Subscriber Line
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IPTV	Internet Protocol Television
ISDN	Integrated Service Digital Networks
ISP	Internet Service Provider
ITU	International Telecommunication Union
ITU-T	International Telecommunication Union - Telecommunication Sector
LAN	Local Area Network
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
LLID	Logical Link Identifier
MDU	Multiple Dwelling Unit
MHU	Multiple Hospitality Unit
MPCP	Multipoint Control Protocol
MTU	Multiple Tenant Unit
NG-PON	Next Generation Passive Optical Networks

NIU	Network Interface Unit
NS3	Network Simulator Version 3
OAM	Operations and Maintenance Working Group
OAM	Operation, Administration and Management Information
OAN	Optical Access Network Working Group
OC	Optical Carrier Signal
ODN	Optical Distribution Network
OLT	Optical Line Terminal
ONT	Optical Network Terminal
ONU	Optical Network Unit
OpEx	Operational Expenditures
OSI	Open Systems Interconnection
PAM	Pulse Amplitude Modulation
PARC	Palo Alto Research Center
PLOAM	Physical Layer Operation, Administration and Management Information
PON	Passive Optical Network
POP	Point Of Presence
PSTN	Public Switched Telephony Network
QoS	Quality Of Services
RADSL	Rate Adaptive Digital Subscriber Line
RN	Remote Node
RTT	Round-Trip Time
SAN	Storage Area Network
SDSL	Single Pair Symmetric Digital Subscriber Line
SDU	Single Dwelling Unit
SFD	Start Frame Delimiter
SFU	Single Family Unit
SHDSL	Single-Pair High Bit-Rate Digital Subscriber Line
SLA	Service Level Agreement
SOHO	Small Office/Home Office
SPD	Start-Of-Packet Delimiter
STM	Synchronous Transport Module
STS	Synchronous Transport Signal
T-CONTs	Traffic Containers
TDM	Time Division Multiplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
VDSL	Very High Bit Rate Digital Subscriber Line
VDSL2	Very High Bit Rate Digital Subscriber Version 2
VoD	Video On Demand
VoIP	Voice Over Internet Protocol
WDMA	Wavelength Division Multiple Access
xDSL	Digital Subscriber Line
XG-PONs	10 Gigabits-Capable Passive Optical Networks

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	DELIMITAÇÃO DO TEMA	18
1.1.1	Problema	20
1.1.2	Justificativa	21
1.2	OBJETIVOS	23
1.2.1	Objetivo Geral	23
1.2.2	Objetivo Específico	24
1.3	METODOLOGIA	24
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	25
2	CONCEITOS BÁSICOS	27
2.1	CONCEITOS GERAIS	27
2.1.1	Tipos de Rede	27
2.1.1.1	Wide area network (WAN)	28
2.1.1.2	Metropolitan area network (MAN)	29
2.1.1.3	Local area network (LAN)	29
2.1.1.4	Access network	30
2.1.2	Terminologias de Rede	30
2.1.2.1	Central Office	31
2.1.2.2	Rede de longa distância – Long haul network	32
2.1.2.3	Backbone da rede	32
2.1.2.4	Metro interoffice network	32
2.1.2.5	Pontos de convergência locais - Local convergence points	32
2.1.2.6	Cabos de alimentação – Feeder cables	33
2.1.2.7	Ponto de acesso à rede – network access point	33
2.1.2.8	Distribution cables and drop cables	33
2.1.2.9	Network interface unit	34
2.1.3	Conceito de última milha – the last mile	35
2.1.4	Terminologias relativas às instalações	36
2.2	TECNOLOGIAS DE ACESSO	38
2.2.1	Digital Subscriber Line (DSL)	39
2.2.1.1	Integrated Digital Subscriber Line (IDSL)	40
2.2.1.2	High Bit-rate Digital Subscriber Line (HDSL)	40
2.2.1.3	Single-par Digital Subscriber Line (SDSL)	41
2.2.1.4	Single-par High Bit-rate Digital Subscriber Line (SHDSL)	41
2.2.1.5	Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL)	42
2.2.1.6	Rate Adaptive Digital Subscriber Line (RADSL)	43
2.2.1.7	Asymmetric Digital Subscriber Line Lite (ADSL LITE/G. LITE)	43
2.2.1.8	Asymmetric Digital Subscriber Line version 2 (ADSL2)	44
2.2.1.9	Asymmetric Digital Subscriber Line Extended Bandwidth 2 (ADSL2+)	44
2.2.1.10	Very High Bit Rate Digital Subscriber Line (VDSL)	44
2.2.1.11	Very High Bit Rate Digital Subscriber 2 (VDSL2)	45
2.2.2	Passive Optical Networks (PONs)	46
2.2.2.1	Especificações para PONs	49
2.2.2.2	Time Division Multiple Access (TDMA)	51
2.2.2.3	Wavelength Division Multiple Access (WDMA)	52
3	BROADBAND PASSIVE OPTICAL NETWORK (BPON)	54
3.1	FLUXO DE TRÁFEGO EM UMA BPON	55
3.2	RECURSOS PROVIDOS PELO OLT	56

3.3	CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DAS BPONs	57
3.3.1	Fluxo de tráfego para dados e voz em uma BPON	58
3.3.2	Fluxo de tráfego para vídeo em uma BPON	62
3.4	CONTROLE DE TRÁFEGO EM UMA BPON	63
3.4.1	Alocação fixa de largura de banda	64
3.4.2	Alocação dinâmica de largura de banda	65
4	ETHERNET PASSIVE OPTICAL NETWORK (EPON)	68
4.1	EPON COMO ETHERNET IN THE FIRST MILE	69
4.2	ARQUITETURA EPON	70
4.2.1	Definindo funções das ONU/ONT e OLT em EPONs	72
4.2.2	Fluxo de tráfego em uma EPON	72
4.2.3	Níveis de potência dentro da EPON	75
4.3	FUNÇÕES MULTIPONT CONTROL PROTOCOL	75
4.3.1	Fase de descoberta	76
4.3.2	Atribuição de largura de banda	76
4.3.3	Tempo de transmissão	78
5	GIGABIT-CAPABLE PASSIVE OPTICAL NETWORK (GPON)	81
5.1	ARQUITETURA GPON	81
5.1.1	Especificações para requisitos de serviços na GPON	82
5.1.2	Proteção de comutação na GPON	84
5.1.3	Segurança da Informação em uma GPON	87
5.2	A CAMADA DEPENDENTE DO MEIO FÍSICO GPON	87
5.2.1	Performance óptica	88
5.2.2	Temporização e controle de potência óptica	89
5.2.3	A correção de erros FEC	91
5.3	CAMADA DE CONVERGÊNCIA DE TRANSMISSÃO GPON	92
5.3.1	Formado do quadro de downstream GPON	93
5.3.2	Formado do quadro de upstream GPON	97
5.3.3	Segmentação de pacotes GPON	99
6	10G-EPON E XG-PON	102
6.1	A PRÓXIMA GERAÇÃO DE REDES – NG-PON	103
6.2	ASPECTOS SOBRE MIGRAÇÃO PARA 10G-EPON E XG-EPON	105
7	SOLUÇÕES FTTH EM REDES DE ACESO	110
7.1	FIBER TO THE X (FTTX)	110
7.1.1	Fiber to the Building (FTTB)	111
7.1.1.1	Fiber to the the Building para Multiple Dwelling Units (FTTB/MDU) ..	112
7.1.1.2	Fiber to the the Building para Multiple Tenant Units (FTTB/MTU) ...	112
7.1.2	Fiber to the Curb (FTTC)	113
7.1.3	Fiber to the Office (FTTO)	114
7.1.4	Fiber to the cell wireless (FTTCell wireless)	114
7.1.5	Fiber to the home (FTTH)	115
7.2	PLANEJAMENTO DA REDE FTTH	116
7.3	DIRETRIZES DE PROJETO FTTH	120
7.3.1	Determinação do Head Central Office e sua zona associada	121
7.3.2	Projeto da rede de alimentação	123
7.3.3	Projeto da rede de distribuição	127
7.3.4	A Rede de transmissão e a rede do usuário	130
7.4	UMA VISÃO SOBRE CUSTO NA IMPLANTAÇÃO FTTH	132
7.4.1	Metodologia para a definição do ciclo de vida da rede	133
7.4.2	Custos gerais para um caso de estudo com FTTH	135

8	SIMULAÇÃO	138
8.1	O SOFTWARE OPNET.....	138
8.2	CENÁRIOS E RESULTADOS OBTIDOS.....	139
8.2.1	Resultados e discussões.....	143
9	CONCLUSÃO	156
	REFERÊNCIAS.....	158

1 INTRODUÇÃO

Devido ao avanço na utilização dos sistemas de telecomunicações, observa-se uma crescente necessidade de grande largura de banda para que se possam enviar cada vez mais dados em uma maior velocidade. Mesmo clientes de assinaturas residenciais passam a exigir redes de altíssima velocidade para usufruírem serviços de mídia e voz (KOCHER, 2012).

Da mesma forma, os assinantes corporativos exigem infraestruturas de conexões com banda larga cada vez maior para que possam ampliar suas redes locais – *local area networks* (LANs) – através do *backbone* da Internet. Isto exige, principalmente das redes de acesso, capacidades mais elevadas de transmissão de dados em consequente com busca de custos mais baixos nas suas implementações e manutenções (KOCHER, 2012).

Segundo previsão da Cisco®, publicada em maio de 2015, o tráfego IP global atingirá 1,1 zettabytes por ano ou 88,4 exabytes (o que representa um bilhão de gigabytes) por mês em 2016. Em 2019 o tráfego gerado na Internet atingirá um limiar – *threshold* – de 2,0 zettabytes ao ano o que representará 168,0 exabytes por mês. Ainda, segundo esta mesma publicação da Cisco®, o tráfego IP global aumentou mais de cinco vezes nos últimos 5 anos e vai aumentar quase três vezes ao longo dos próximos 5 anos. No geral, o tráfego IP crescerá a uma taxa composta de crescimento anual – *compound annual growth rate* (CAGR) – de 23% entre 2014 e 2019. Estima-se também que as velocidades globais de banda larga fixa chegarão a 43 Mbps na média, mais que o dobro dos 20 Mbps registrados no ano de 2014.

A tabela 1.1 apresenta alguns dados destas estimativas, considerando os valores apresentados em Petabytes por mês (onde um Petabyte equivale a 1024 terabytes ou um milhão de gigabytes).

Tabela 1.1 – Estimativa de consumo de tráfego global mensal da Internet [5]

	Consumo de tráfego de Internet, 2014–2019						CAGR 2014–2019
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
Video sobre Internet	21,624	27,466	36,456	49,068	66,179	89,319	33%
Web, email e dados	5,853	7,694	9,476	11,707	14,002	16,092	22%
Trasnfereência de arquivos	6,090	6,146	6,130	6,168	6,231	6,038	0%
Jogos OnLine	27	33	48	78	109	143	40%

Diante destes desafios, surgem questões sobre como melhorar significativamente a interoperabilidade e o desempenho da rede.

De que forma pode-se aumentar a largura de banda oferecida aos assinantes das operadoras e ao mesmo tempo reduzir as latências a níveis cada vez mais baixos para aplicações que possuem alta demanda de tráfego como é o caso das transmissões de TV sobre o protocolo IP – *Internet Protocol TeleVision* (IPTV) – que, conforme estudo apresentado por Yarali et Cherry (2005), foi observado que ao longo de uma programação de transmissão de dados de TV com alta definição – *High Definition TeleVision* (HDTV) – sobre protocolo IP, demandas de largura de banda de até 9 Mbps. Não esquecendo de citar a demanda cada vez maior de usuários por jogos interativos e conversas com vídeo na Internet.

Para que se consiga maior eficiência em termos de baixa latência em transmissões que demandam um alto volume de tráfego em rajadas e limitando ao máximo o número da perda de dados, o acesso à rede deve estar devidamente

preparado e estruturado para convergir tráfegos de voz, dados e vídeo. (LEE et al. 2006).

Como opção para solucionar esta necessidade atual de melhoria das redes de acesso apresentam-se nesta monografia os padrões e as características das redes ópticas passivas – *passive optical networks* (PONs) – comercialmente ativas, bem como as novas tecnologias que ainda estão em desenvolvimento. Além de apresentarmos as arquiteturas conhecidas como *Fiber To The X* (FTTx) onde, segundo Keiser (2006), “X” é uma letra que indica o quão próximo o ponto final da linha de fibra óptica vai ao usuário efetivo da rede. Enfatiza-se, dentre estas o uso da arquitetura *Fiber To The Home* (FTTH) que opera sobre as PONs.

1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Conforme abordado na introdução, o presente trabalho apresenta o conjunto de tecnologias denominado FTTx e estuda sua viabilidade em face ao aumento proporcionado na largura de banda ao usuário final, não se esquecendo de avaliar os custos envolvidos para a implementação, em sua particularidade da arquitetura FTTH.

Ao longo deste documento procura-se demonstrar a necessidade eminente da diminuição das distâncias existentes entre os usuários finais da rede e os *Central Offices* (COs) – também conhecidos como *Digital Subscriber Line Access Multiplexer* (DSLAM) – mais próximos para que se possa assegurar largura de banda suficiente nas atuais redes de fios de cobre que são baseadas nas tecnologias *Digital Subscriber Line* (xDSL), evidenciando-se a *Very High Bit-Rate Digital Subscriber Line* (VDSL), largamente empregada pelas operadoras atualmente, levando assim a um aumento considerável de instalação de novos equipamentos ativos (DSLAMs/COs), que por

definição, requerem uso de energia elétrica e gerenciamento operacional ativo para seu funcionamento, gerando aumento dos custos capitais – *capital expenditures* (CapEx) – e custos operacionais – *operational expenditures* (OpEx) – envolvidos neste processo.

A figura 1.1, extraída dos estudos de Jensen et al. (2006), que lidam com a mesma questão abordada neste trabalho, demonstra a relação entre a largura de banda oferecida em função da distância em que se encontra o CO mais próximo no uso da tecnologia xDSL, considerando as taxas referenciadas nas especificações – *Specifications* – e as taxas de transmissão reais observadas – *Corrected*.

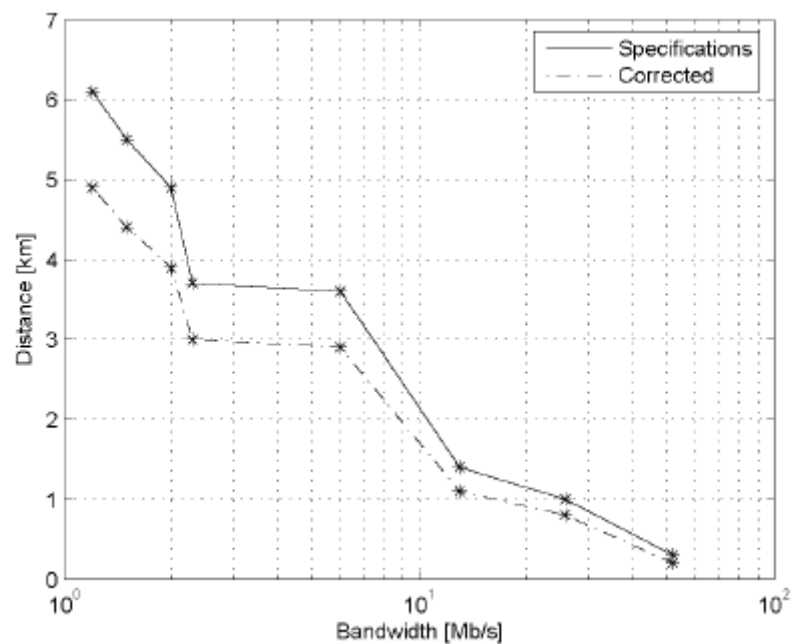


Figura 1.1 – Largura de banda fornecida em função da distância considerando o uso das tecnologias xDSL [17]

Tal problema deixa de existir quando passamos a utilizar as PONs como uma das opções de tecnologias de acesso utilizadas pela FTTH. Fato que proporciona,

mediante uso das fibras ópticas, um aumento substancial na distância entre o usuário final e o CO para até 20 Km (KEISER, 2006).

1.1.1 Problema

Como dito, atualmente as tecnologias de redes de acesso amplamente difundidas são o conjunto denominado linha digital do assinante – *digital subscriber line* (xDSL) – e a de moduladores a cabo – *Cable Modem* (SEIMETZ, 2009).

A atual xDSL abrange um grande grupo de tecnologias com distintos parâmetros a serem considerados, quando se trata de largura de banda e distâncias de transmissão, nas quais observam-se uma grande queda na qualidade das transmissões a medida em que crescem as distâncias entre o assinante e o CO (JENSEN et al. 2006). Tais tecnologias serão abordadas com maiores detalhes no capítulo 2 deste trabalho.

Os circuitos terminais de cobre atualmente instalados limitam o desempenho da linha digital do assinante assimétrica – *Asymmetric DSL* (ADSL) – e dos *modems* de telefone, haja vista seu material ser suscetível a atenuação e interferências cada vez maiores quando se aumentam as distâncias entre seus elementos ativos (TANEBAUM, 2011).

Para que estes ofereçam serviços mais rápidos e melhores, as companhias telefônicas necessitarão atualizar os circuitos terminais a cada oportunidade, lançando mão do uso das fibras ópticas até as residências e escritórios, a chamada última milha das operadoras de telefonia (TANEBAUM, 2011).

Como dito, a xDSL está tornando-se incapaz de suportar o crescimento exponencial do tráfego, e do número de usuários da Internet, bem como da demanda

de serviços de banda larga como voz sobre IP – *Voice Over IP (VoIP)* – vídeo sobre demanda – *Video on Demand (VoD)* – jogos interativos e vídeo conferências (ARMSTRONG, 2009). Ressaltando-se ainda as já mencionadas transmissões em HDTV.

1.1.2 Justificativa

Nesse cenário, o uso de fibras ópticas para transmissão de dados tem sido creditado como o derradeiro passo da evolução na disponibilidade de banda no acesso à Internet (última milha). Entretanto, a maioria das operadoras de telecomunicações ainda relutam quanto ao desenvolvimento da tecnologia FTTH para possibilitar acesso às redes. Aversões estas relacionadas em sobremaneira à expectativa dos custos envolvidos na migração dos enlaces dos atuais cabos de cobre para as fibras ópticas (CAISER et al. 2008).

Para minimizar os custos de implementação da tecnologia FTTH, fornecendo assim, acesso à Internet por meio dos cabos de fibra óptica ligados diretamente a partir de um provedor de serviço de Internet – *Internet Service Provider (ISP)* – para as residências ou instalações de uma empresa, o uso de PONs, utilizando uma arquitetura ponto-multiponto deve ser considerado como uma boa prática de abordagem (LEE et al. 2006).

Haja vista a não utilização de fontes de energia por parte das operadoras, bem como de necessidade de gerenciamento operacional dos equipamentos passivos com uso de unidades de rede ópticas – *Optical Network Units (ONUs)* – que em conjunto com um terminal de linha óptico – *Optical Line Terminal (OLT)* – através de uma topologia em árvore, proveem uma certa razão de separação do sinal possibilitando

até 128 divisões possíveis em uma única fibra (AB-RAHMAN et al. 2009). Permitindo assim conciliar, mediante o uso das PONs, de certa maneira interesses das operadoras e de seus assinantes.

Ressalta-se que o termo PON pressupõe a não existência de elementos ativos entre o CO e as instalações do cliente. Em outras palavras, apenas fibras ópticas e elementos passivos de rede que não requerem nenhuma fonte de energia ou gerenciamento ativo são utilizados (LEE et al. 2006).

Outro fator relevante a ser considerado é que o tempo de vida da planta externa passiva, que se define como utilização de repetidores que não fazem utilização de energia elétrica, é estimado em algo superior a 20 anos. Justificando os custos envolvidos (CapEx) por ocasião de sua instalação ou mesmo migração, maximizando a economia com despesas operacionais para as operadoras (OpEx) (LEE et al. 2006).

Serviços de vídeo centralizados demandam não apenas maior largura de banda, mas também altos níveis de qualidade de serviço – *Quality Of Services* (QoS). Deve-se observar que, possivelmente, os assinantes solicitarão múltiplos e simultâneos serviços durante intervalos específicos de tempo, gerando picos de tráfego que serão observados durante múltiplas chamadas HDTV por uma única residência (LEE et al. 2006).

Para tanto, futuros acessos a rede deverão oferecer garantia simétrica de largura de banda em torno de 100 Mbps, *upstream* e *downstream* (termos que serão definidos adiante neste trabalho), diferentemente de apenas assegurar tal largura de banda unicamente nos momentos de pico quando houver o compartilhamento entre os vários assinantes (LEE et al. 2006). Política essa adotada pelas operadoras nos dias atuais.

Com uso da VDSL, garantir taxas de transmissão de dados de 100 Mbps, faz com que a distância da transmissão entre o assinante e o CO fique limitada a 100m, o que requer o uso das mais altas e sofisticadas tecnologias objetivando superar tais deficiências (LEE et al. 2006). Acarretando aumento de custos por parte das operadoras (CapEx) em suas implantações.

Torna-se assim, essencial o uso das fibras ópticas monomodos na transmissão de mídia, fornecendo largura de banda com transmissões ilimitadas sobre longas distâncias. Sendo este, o objetivo macro da solução proposta, fornecer uma fibra óptica para cada instalação do cliente (LEE et al. 2006).

1.2 OBJETIVOS

Esta seção destina-se a apresentar os objetivos, tanto gerais (conceitos básicos das redes de computadores) quanto específicos (conceitos referentes às novas tecnologias desenvolvidas para uso nas redes de acesso) que norteiam o desenvolvimento deste estudo.

1.2.1 **Objetivo Geral**

Apresentar as características existentes nas redes de computadores, abordando, a fim de apresentar dados, de forma sucinta, para que se possa considerar a substituição dos cabos de cobre em par trançado, utilizados pelas operadoras atualmente em suas redes de acesso, pelo uso de cabos de fibras ópticas até a residência do cliente.

1.2.2 Objetivo Específico

Apresentar as características das redes ópticas passivas – *passive optical networks* (PONs) – demonstrando as vantagens e limitações da tecnologia proposta. Bem como caracterizar os diversos componentes e equipamentos envolvidos no sistema PONs. Além de apresentar as características e definições das redes de fibra até os clientes – *Fiber To The X* (FTTX).

1.3 METODOLOGIA

Será realizado um estudo sobre a tecnologia Internet, objetivando situar o leitor com a mudança nos paradigmas no que se refere a sua utilização, levando aos motivos pelos quais encontram-se as atuais necessidades de aumento na largura de banda oferecida e os novos desafios com que se defrontam as operadoras de telecomunicações.

O método utilizado para alcançar os resultados resume-se em um levantamento bibliográfico, que visa sustentar a fundamentação teórica e apresentar ao leitor um conhecimento das tecnologias doravante abordadas.

Desta forma serão estudadas as tecnologias utilizadas nos modelos de redes de acesso até a utilização da fibra óptica diretamente ao cliente (FTTH) com uso das redes ópticas passivas (PONs).

Por fim, apresenta-se uma simulação de tráfego, com uso do *software OPNET® modeler*, que permite de forma simplista exemplificar através de dados coletados aquilo que foi apresentado segundo levantamento realizado por meio da revisão de bibliografias existentes sobre o tema.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

No presente capítulo apresenta-se uma visão geral sobre as atuais necessidades do mercado de telecomunicações naquilo que se refere a tráfego de dados na Internet, principalmente convergindo voz, dados e vídeo. Define-se também a motivação que leva tal estudo a ser realizado, bem como os objetivos que este trabalho pretende alcançar.

O capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica no que tange aos conceitos básicos sobre tecnologia Internet e tecnologias de acesso, especificamente xDSL e PON, apresentando suas características básicas com objetivo de fornecer conceitos que possam sustentar a compreensão dos temas a serem propostos posteriormente.

O capítulo 3 apresenta conceitos e características específicas das redes ópticas passivas de banda larga – *broadband passive optical networks (BPONs)*.

O capítulo 4 demonstra conceitos e características específicas das redes ópticas passivas Ethernet – *Ethernet passive optical networks (EPONs)*.

O capítulo 5 discute os conceitos e as características específicas das redes ópticas passivas com capacidade gigabit – *gigabit capable passive optical networks (GPONs)*.

O capítulo 6 apresenta alguns dos conceitos e as principais características inerentes às redes ópticas passivas Ethernet com capacidade 10 gigabits – *10 gigabits capable Ethernet passive optical networks (10G-EPONs)*, definidas na norma IEEE802.3av, bem como das redes ópticas passivas com capacidade 10 gigabits (XG-PONs), descritas na recomendação ITU-T G.987.1, de janeiro de 2010. Além de citar aspectos a serem considerados na migração entre EPON/GPON para estas redes consideradas próxima geração PON – *next generation PON (NG-PON)*.

No capítulo 7 abordam-se as arquiteturas FTTx no geral, e em especial atenção a arquitetura FTTH. Creditada como o sendo o último passo em direção ao aumento da banda passante nas redes de acesso, a fim de sustentar a crescente demanda de taxa de bits sobre a Internet graças a convergência de serviços observada nas redes atualmente. Além de apresentar alguns trabalhos relacionados que vão em busca da justificativa para considerar a substituição, visando redução dos custos operacionais (OpEx) e de instalação (CapEx) na migração dos atuais enlaces utilizados nas redes de acesso pelo uso de cabos de fibra óptica.

O capítulo 8 traz alguns resultados obtidos mediante simulações de tráfego realizadas no *software OPNET® modeler*, no qual procurasse evidenciar a influência da distância entre usuário final e os COs das operadoras nas redes de acesso que utilizam tecnologia VDSL em comparação com o uso da FTTH.

Por fim, há um capítulo reservado às conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

2 CONCEITOS BÁSICOS

Objetivando estabelecer uma melhor compreensão dos conteúdos envolvidos no presente trabalho, ao longo deste capítulo, é realizado um levantamento bibliográfico com objetivo de apresar ao leitor as tecnologias de acesso por hora existentes, procurando assim, fundamentar as ideias aqui propostas.

Conforme citado no capítulo anterior, Kaiser (2006) menciona que o emergente e drástico aumento do uso da *World Wide Web* nos anos 1990s mudou a natureza fundamental do projeto das redes de computadores, bem como seu uso. Em face ao exposto, é necessário compreender os porquês dos atuais desafios enfrentados pelos desenvolvedores das tecnologias empregadas na rede mundial de computadores.

2.1 CONCEITOS GERAIS

A fim de que se possa demonstrar como uma rede de acesso se encaixa no contexto global da hierarquia de rede, esta seção destina-se a ilustrar os diferentes tipos de redes e também definir algumas terminologias necessárias para compreensão do assunto geral.

2.1.1 Tipos de Rede

Esta seção apresenta as quatro categorias genéricas de redes de telecomunicações, graficamente representadas na Figura 2.1. Redes de acesso – *access network*, *local area networks* (LANs), *metropolitan area networks* (MANs) e *wide area networks* (WANs).

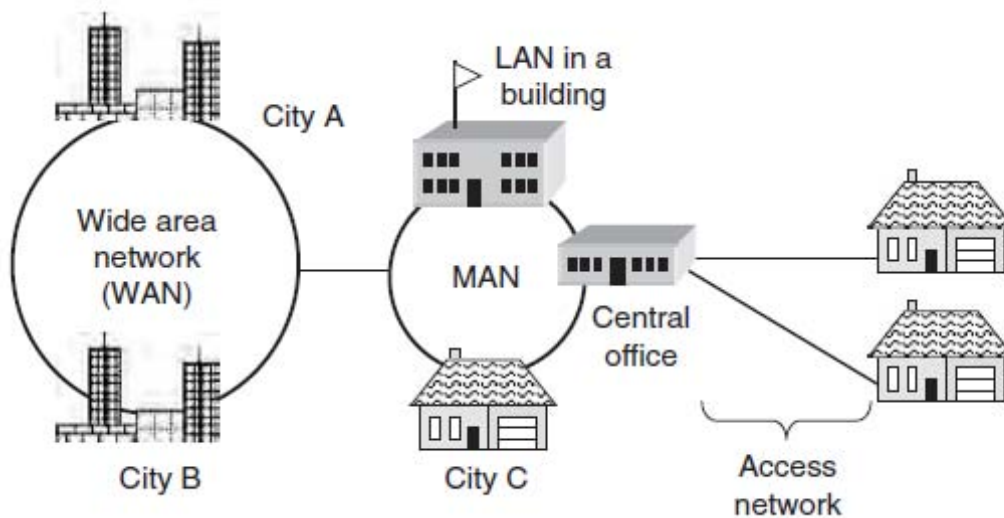


Figura 2.1 – Grandes categorias de redes que vão de LANs até WANs [18]

2.1.1.1 *Wide area network (WAN)*

Redes WAN expandem-se em uma grande área geográfica. Os enlaces podem variar desde conexões entre instalações de comutação em cidades vizinhas até enlaces de transmissões terrestres ou submarinas de longas distâncias atravessando um país inteiro ou mesmo entre vários países (KEISER, 2006).

Estas WANs pertencem e são operadas por empresas privadas ou por provedores de serviços de telecomunicações. Invariavelmente, muitas companhias são proprietárias de vários segmentos de enlaces WAN distantes uns dos outros (KEISER, 2006).

2.1.1.2 *Metropolitan area network* (MAN)

Uma rede MAN, também conhecida como *metro network*, abrange uma área menor do que aquela estendida por uma WAN. Isto pode variar de interconexões entre edificações cobrindo várias quadras dentro de uma cidade ou pode até mesmo englobar uma cidade inteira e toda a área metropolitana em torno dela (KEISER, 2006).

Há também alguns meios de interconectar recursos de uma MAN com entidades de comunicação localizadas em WANs e redes de área local – *local area networks* (LANs) – a serem definidas na próxima seção. Redes MANs pertencem e são operadas por diversas organizações (KEISER, 2006).

2.1.1.3 *Local area network* (LAN)

Este tipo de rede interconecta usuários em uma determinada área, tal qual, uma sala, um departamento, um edifício, um escritório, um complexo industrial ou mesmo um grupo de prédios que estão dentro de uma razoável distância curta entre eles. Pode-se considerar uma LAN, por exemplo, uma rede de computadores conectando edifícios de uma corporação, um grande hospital ou um complexo universitário (campus). LANs normalmente pertencem e são operadas por uma empresa privada (KEISER, 2006).

2.1.1.4 Access network

Uma rede de acesso engloba conexões que se estendem de uma instalação de comunicação central de comutação – *Central Office (CO)* – até empresas individuais, organizações ou as residências dos assinantes. Uma de suas funções é a de coletar e concentrar o fluxo de informações das instalações dos clientes e então enviar este tráfego agregado para o CO (KEISER, 2006).

No outro sentido da transmissão, as redes de acesso, possibilitam que as operadoras de telecomunicações transportem voz, dados, vídeos e outros tipos de serviços a seus clientes. Redes de acesso tipicamente são de propriedade dos provedores de serviços. Desta forma, as redes acessos, permitem que usuários em suas residências, ambientes de negócios e empresas em geral tenham conectividade com a rede de transporte de informação global – Internet (KEISER, 2006).

A principal motivação por trás do desenvolvimento de novas tecnologias de acesso é fazer com que haja a transição das lentas linhas de telefonia tradicional ainda utilizadas atualmente para enlaces de larga capacidade objetivando permitir aos usuários conexões de altíssima velocidade para as redes externas (KEISER, 2006).

2.1.2 Terminologias de Rede

Para obter um melhor entendimento sobre redes ópticas, é necessário que se definam alguns termos utilizados, tais quais os apresentados na Figura 2.2.

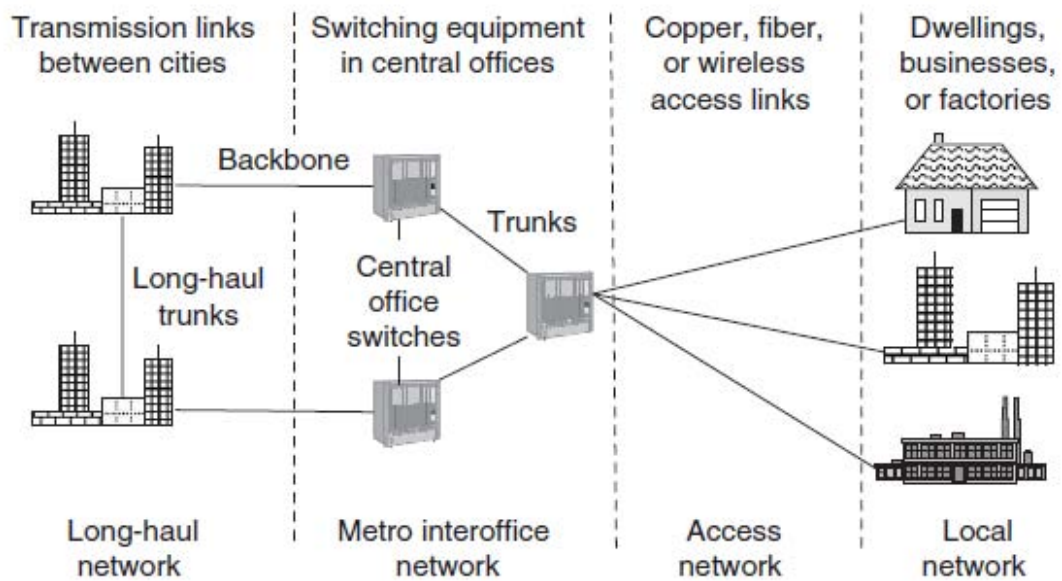


Figura 2.2 – Definições de alguns termos empregados na descrição de redes públicas [18]

2.1.2.1 Central Office

Uma instalação de comunicação de comutação em uma rede pública. Também conhecida como *Point of Presence* (POP). Um CO pode estar localizado em um anel metropolitano ou em um enlace em direção ao núcleo de uma rede metropolitana – *metro network* (KEISER, 2006).

Ele abriga uma série de grandes e complexos *switches* que estabelecem ligações temporárias para uma conexão requerida por uma certa duração de tempo entre a linha do assinante com a terminação do *switch*. Um único CO pode atender na ordem de centenas de milhares de assinantes (KEISER, 2006). Um CO é o conhecido DSLAM utilizado nas tecnologias DSL.

2.1.2.2 Rede de longa distância – *Long haul network*

Uma rede de longa distância fornece interconexão entre várias cidades ou regiões geográficas e abrange centenas de milhares de quilômetros entre seus *central offices* (COs) (KEISER, 2006).

2.1.2.3 *Backbone* da rede

O termo *backbone* é utilizado para descrever uma rede de alta capacidade que conecta múltiplos segmentos de LANs, MANs ou WANs. Assim sendo, um *backbone* opera tráfegos inter-redes, que são tráfegos originados em um seguimento de rede e transmitidos a outro seguimento de rede (KEISER, 2006).

2.1.2.4 *Metro interoffice network*

Conecta grupos de *central offices* (COs) dentro de uma cidade ou uma região geográfica. A distância entre os COs para este tipo de rede atinge de algumas a várias dezenas de quilômetros (KEISER, 2006).

2.1.2.5 Pontos de convergência locais - *Local convergence points*

Referem-se aos elementos ativos de comunicação das redes de acesso localizados nos arredores dos assinantes ou em um parque industrial. Estes elementos ativos podem atender vários assinantes, tipicamente consistindo de um

armário interno ou externo, até mesmo uma construção da operadora que abriga dispositivos ópticos ou equipamentos eletrônicos

Sua principal função está em distribuir os sinais de *downstream* aos clientes neles conectados ou concentrar fluxos de informações individuais dos diferentes assinantes e transmitir este tráfego *upstream* agregado para o *central office* (CO) (KEISER, 2006).

2.1.2.6 Cabos de alimentação – *Feeder cables*

Os cabos de alimentação são os enlaces responsáveis por conectar o *central office* (CO) e os pontos de convergências locais – *local convergence points* – na rede de acesso (KEISER, 2006).

2.1.2.7 Ponto de acesso à rede – *network access point*

Os pontos terminais de acesso – *network access points* – estão localizados próximos aos assinantes em um bairro, um parque industrial ou um campus. Possuem a função de ponto concentrador ou de distribuição para ligar enlaces mais curtos na direção das residências ou instalações individuais dos clientes (KEISER, 2006).

2.1.2.8 *Distribution cables and drop cables*

Os cabos de distribuição – *distribution cables* – partem do ponto de convergência local e conectam vários pontos de acesso à rede. Nestes pontos de acesso à rede, os fios ou fibras dos cabos de distribuição são ligados aos cabos de

transmissão – *drop cables* – individuais que por sua vez irão conectar as instalações dos clientes a rede (KEISER, 2006).

2.1.2.9 Network interface unit

Uma unidade de interface com a rede – *network interface unit* (NIU) – localizada na instalação do cliente possibilita ao usuário a conexão com a rede. Tipicamente a NIU contém dispositivos eletrônicos que serem como mecanismos de interface entre o meio de transmissão utilizado na rede de acesso e o tipo de cabeamento utilizado internamente nas instalações do assinante (podendo ser fibras ópticas, cabos de par trançado ou cabos coaxiais). A figura 2.3 apresenta a configuração dos termos acima definidos para uma melhor visualização ao leitor (KEISER, 2006).

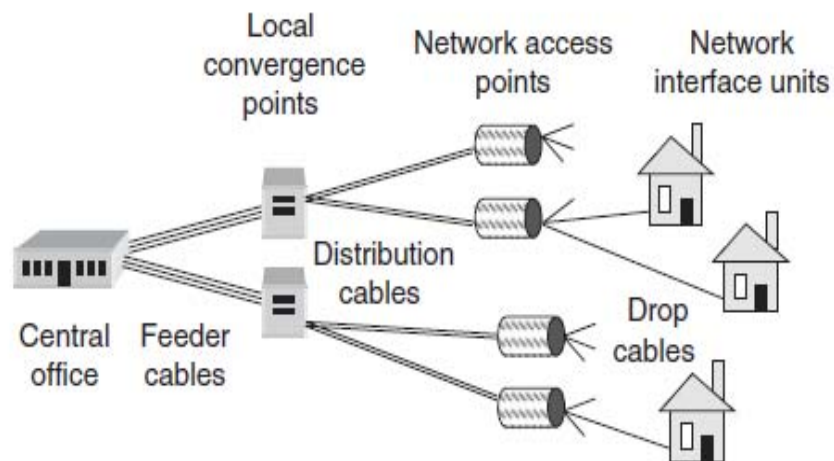


Figura 2.3 – Alguns termos utilizados para descrever localização de equipamentos e cabos em uma rede óptica passiva (PON) [18]

2.1.3 Conceito de última milha – *the last mile*

A figura 2.4 apresenta uma rede de acesso simplificada que permite ao cliente contratar serviços de telefone, vídeo e Internet. Em uma PON as instalações dos clientes são conectadas por meio de enlaces ópticos passivos até o *central office*, o qual faz a interface dos serviços de telecomunicações tais quais a rede de telefonia comutada pública ou *Public Switched Telephone Network* (PSTN), os provedores de serviços de Internet ou *Internet Service Providers* (ISPs), os provedores de vídeos sob demanda ou *Video-on-Demand Providers* e uma rede de área de armazenamento ou *Storage Area Network* (SAN) (KEISER, 2006).

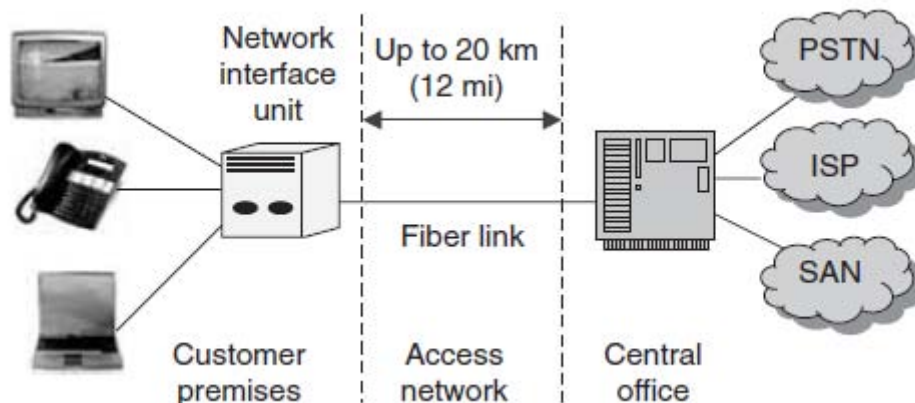


Figura 2.4 – Rede de acesso simplificada [18]

Aqui cabe ressaltar que os termos: última milha ou primeira milha, podem ser igualmente utilizados para referirem-se ao alcance de uma rede de acesso entre uma empresa ou uma residência e o *central office* local. Notemos que o termo milha é utilizado para denotar uma distância relativamente curta da rede e não tem significado

exato de 1 milha. Utilizar o termo primeira milha ou última milha dependerá de qual ponto de vista estamos abordando a questão (KEISER, 2006).

Companhias de telefonia utilizam o termo última milha, uma vez que ela representa a conexão final do CO para o cliente. Fabricantes de equipamentos Ethernet preferem chama-la de primeira milha, uma vez que ela é a conexão inicial dos equipamentos dos clientes para a rede (KEISER, 2006).

Para este trabalho o ponto em questão é (primeira ou última milha) que este termo está relacionado a limitações de performance dos tradicionais meios de transmissão de baixo custo e baixa capacidade utilizados ao longo da expansão das redes de acesso.

Para a grande capacidade das redes WAN e MAN, custos de instalação e de operação relativos ao cabeamento e aos equipamentos de comutação podem ser divididos ao longo de um grande número de usuários, de modo que o custo relativo por assinante de serviço é baixo. Entretanto, habilitar enlaces de altíssimas velocidades de um ponto de convergência local para as instalações é caro em relação a um único assinante, uma vez que o custo de implementação não pode ser dividido com muitos clientes. É neste ponto que as redes ópticas passivas cumprem um papel decisivo na mudança de paradigmas nas redes de acesso.

2.1.4 Terminologias relativas às instalações

O usuário final da rede de primeira milha pode ser uma simples residência familiar, uma simples unidade de uma empresa ou um edifício que abriga muitos apartamentos, empresas ou organizações.

A figura 2.5 demonstra os tipos de instalações que podemos encontrar nas definições abaixo apresentadas encontradas nas bibliografias de referência, conforme citado em Keiser (2006). As siglas são usadas para referenciar as variações destes tipos de instalações que contém múltiplos grupos de usuários:

- 1) *Multiple dwelling unit* (MDU) – A unidade de habitação múltipla refere-se por exemplo a um condomínio;
- 2) *Multiple tenant unit* (MTU) – A unidade de locatário múltipla serve para designar um prédio contendo escritórios, um campus com seus escritórios ou mesmo um campus industrial com distintos locatários de negócios;
- 3) *Multiple hospitality unit* (MHU) – A unidade de hospitalidade múltipla refere-se a instalações tais quais hotéis, hospitais, aeroportos ou centro de convenções;
- 4) *Single dwelling unit* (SDU) – A habitação de uma única família é, conforme o próprio nome sugere, uma instalação ocupada por uma única família;
- 5) *Single family unit* (SFU) – A unidade de uma única família é uma designação alternativa para SDU; e.
- 6) *Small office/home office* – Um pequeno escritório ou escritório em domicílio é conhecido pela sigla SOHO.

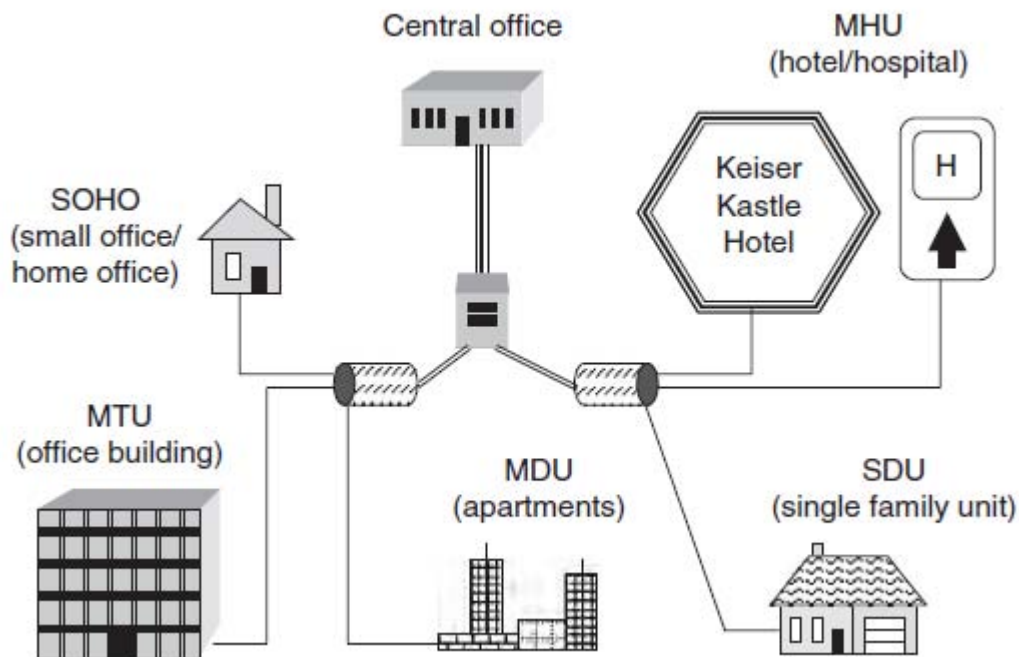


Figura 2.5 – Siglas utilizadas nas bibliografias para definição dos vários tipos de instalações em uma rede de acesso [18]

2.2 TECNOLOGIAS DE ACESSO

Apresentados as terminologias básicas inerentes às redes de computadores, bem como as redes de acesso e redes ópticas passivas, esta seção visa rever e apresentar as diferentes tecnologias de acesso desenvolvidas e comumente utilizadas pelas operadoras de telecomunicações.

A seção tem por objetivo, também, apresentar o que está por surgir no emergente mercado de utilização de transmissões ópticas, especificamente as redes ópticas passivas – *passive optical networks* (PONs) – para as redes de acesso.

Procura-se também situar melhor o leitor no cenário abordado – a crescente necessidade de aumento de largura de banda fornecida nas redes de acesso frente a demanda cada vez maior de seus assinantes.

2.2.1 *Digital Subscriber Line (DSL)*

A linha digital do assinante – *digital subscriber line (DSL)* – é uma tecnologia de modulação que lança mão da utilização dos pares trançados da tecnologia de telefonia tradicional já existentes para transportar dados que demandam alta largura de banda, tais como multimídia e vídeo (SHI et al. 2006).

Nesta tecnologia, por meio da rede de telefonia comutada pública – *Public Switched Telephony Network (PSTN)* – ocorre a ligação através dos COs da rede dos provedores de serviços com os enlaces locais dos clientes (SHI et al. 2006).

O termo xDSL é empregado de forma a abranger as semelhantes, ainda que concorrentes, formas de DSL. Neste grupo destacam-se: ADSL (*Asymmetric DSL*), SDSL (*Single Pair Symmetric DSL*), HDSL (*High Bit Rate DSL*) e VDSL (*Very High Bit Rate DSL*) (SHI et al. 2006). A tabela 2.1 apresenta, para melhor visualização, uma breve comparação destas tecnologias de acesso.

Tabela 2.1 – Especificações xDSL [3]

Tecnologia	Máxima largura de banda		Distância [km]		
	Downstream	Upstream	Especificação	Corrigida	
ADSL	1	1.5 Mbps		5.5	4.4
	2	2 Mbps	64 a 640 kbps	4.9	3.9
	3	6 Mbps		3.6	2.9
SDSL		2.3 Mbps	2.3 Mbps	3.7	3.0
G.HDSL		1.2 Mbps	1.2 Mbps	6.1	4.9
VDSL	1	13 Mbps		1.4	1.1
	2	25.8 Mbps	1.6 a 2.3 Mbps	1.0	0.8
	3	51.8 Mbps		0.3	0.2

Entretanto, outras formas de tecnologia DSL existiram. Elas serão apresentadas nas seções seguintes objetivando a demonstração do seu processo evolutivo e contextualização para que se possa realizar o estudo comparativo xDSL versus PON/FTTH a ser demonstrado no capítulo 8 deste trabalho.

2.2.1.1 *Integrated Digital Subscriber Line (IDSL)*

A primeira tecnologia aqui apresentada é a IDSL (*Integrated Digital Subscriber Line*) que utiliza as mesmas técnicas de codificação da tecnologia ISDN (*Integrated Service Digital Networks*) (MOURA, 2013). No ISDN, o *modem* instalado na residência do cliente cria um *link* digital com a central, ou seja, um sinal digital transmitido dentro de um portador analógico. Desta forma elimina-se a conversão de sinal analógico para digital, e vice-versa. Permitindo-se aproveitar os 64 kbps reservados para chamadas de voz da telefonia tradicional (MORIMOTO, 2011).

Assim sendo, nesta tecnologia, ofereceu-se a possibilidade de transmissão de dados sem que houvesse necessidade de nenhum equipamento adicional para os já usuários dos serviços ISDN. Esta tecnologia utilizava um par de fios de cobre com comunicação *duplex* simétrica, possibilitando taxas de transmissões de até 144 kbps somente para dados. Sendo seu alcance médio de 5,5 km (MOURA, 2013).

2.2.1.2 *High Bit-rate Digital Subscriber Line (HDSL)*

A tecnologia HDSL (*High Bit-rate Digital Subscriber Line*) possibilitou a comunicação simétrica a taxa máxima de transmissão de 1.544 Mbps se utilizado no padrão T1 norte americano com dois pares de fios de cobre ou a taxa de 2.048 Mbps

se utilizado no padrão E1 europeu com três pares de fio de cobre. Esta tecnologia utilizava transmissão *full-duplex* somente para transportar dados. Sendo seu alcance médio entre 3,5 km e 4,5 km (MOURA, 2013).

2.2.1.3 *Single-par Digital Subscriber Line (SDSL)*

A tecnologia SDSL (*Single-par Digital Subscriber Line*) foi uma versão do HDSL descrito acima, porém utilizando somente um par metálico. Desta forma não ultrapassando distâncias maiores que 3 km. Com comunicação simétrica, atingia as mesmas taxas do HDSL. Ou seja, taxas de transmissão de 1.544 Mbps se utilizado no padrão T1 norte americano e 2.048 Mbps se utilizado no padrão E1 europeu (MOURA, 2013).

2.2.1.4 *Single-par High Bit-rate Digital Subscriber Line (SHDSL)*

A tecnologia SHDSL (*Single-par High Bit-rate Digital Subscriber Line*) ou HDSL2, utiliza apenas um par de cobre com transmissão simétrica utilizando codificação PAM (*Pulse Amplitude Modulation*) responsável pela diminuição de interferências em outras linhas. Possui uma velocidade média de 2.048 Mbps, alcançando uma distância máxima de 3,6 Km. Somente podendo ser utilizada para o transporte de dados, não permitindo o uso de serviços de telefonia (MOURA, 2013).

2.2.1.5 Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL)

A tecnologia ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*), desenvolvida para usuários residenciais, tem por objetivo proporcionar uma banda superior para *downloads* da informação (do CO para o usuário) e não para *uploads* (do usuário para o CO), considerando que o maior fluxo de tráfego de dados dá-se no sentido de *download*. Face a isto, ela é denominada assimétrica, o que possibilita uma diferença na velocidade dos dados a serem enviados e recebidos do DSLAM ou CO (MOURA, 2013).

Esta evolução da tecnologia de transmissão de dados é garantida por um processo digital que comprime as informações, atingindo velocidades de até 8 Mbps *downstream* e 800 Kbps *upstream*. A distância entre o assinante e o DSLAM neste tipo de tecnologia pode atingir até 5,5 Km, entretanto, quanto maior for a distância dentro deste parâmetro, menor será a velocidade de transmissão dos dados (MOURA, 2013).

Seu diferencial é o de proporcionar pela primeira vez ao assinante a utilização simultânea de serviço de telefonia e transmissão de dados devido a modulação utilizada DTM (*Discrete Multi Tone*) realizando assim o cancelamento de eco aliado ao divisor – *splitter* – existente em seus moduladores – *modems* – que permitem a separação da faixa de frequência para transmissão de voz e dados (HENZ, 2008).

2.2.1.6 Rate Adaptive Digital Subscriber Line (RADSL)

A tecnologia RADSL (*Rate Adaptive Digital Subscriber Line*) assemelhava-se a ADSL por possuir transmissão assimétrica. Utilizava somente um par de cabos para a transmissão de voz e dados. Permitia um ajuste dinâmico de largura de banda de acordo com a distância existente do assinante ao DSLAM. Permitia ainda velocidades ao usuário final variando de 1 a 7 Mbps para *download* e de 128 Kbps a 1 Mbps para *upload*. Sua distância máxima de transmissão entre o usuário final e o DSLAM variava de acordo com estas taxas em função de sua característica adaptativa (MOURA, 2013).

2.2.1.7 Asymmetric Digital Subscriber Line Lite (ADSL LITE/G. LITE)

Esta tecnologia foi desenvolvida objetivando evitar a necessidade de *splitters* nas instalações dos assinantes para separar frequência de voz e dados, mas permitindo ainda a transmissão simultânea de ambos os sinais. Reduzindo custos e simplificando sua instalação (MOURA, 2013).

Assim como ADSL, G-LITE utilizava modulação DTM podendo alcançar uma distância de até 5,5 Km de transmissão. Entretanto, a não utilização do *splitter*, limitava sua velocidade de transmissão ao máximo de 1.5 Mbps para *download* e 512 Kbps para *upload*. Por possuir uma taxa de transmissão mais baixa, permitia maior tolerância a ruídos e não se fazia necessária a separação dos sinais de voz e dados no assinante, sendo isto feito somente no DSLAM (MOURA, 2013).

2.2.1.8 *Asymmetric Digital Subscriber Line version 2 (ADSL2)*

Buscando melhorias e aumento de taxas de *download* e *upload*, surgiu a ADSL2 (*Asymmetric Digital Subscriber Line version 2*). Não necessitando de *splitter* nas instalações do assinante, assim como a tecnologia G Lite, porém, permitindo taxas de até 12 Mbps para *download* e 800 Kbps para *upload*, melhorando o inconveniente da G Lite. Neste tipo de tecnologia o *splitter* ficava localizado no DSLAM (MOURA, 2013). Assim como na ADSL, ADSL2 trabalhava com faixas de frequência de voz, *upload* e *download* de 0 até 1,1 MHz (MORIMOTO, 2011).

2.2.1.9 *Asymmetric Digital Subscriber Line Extended Bandwidth 2 (ADSL2+)*

A tecnologia ADSL2 plus (*Asymmetric Digital Subscriber Line Extended Bandwidth 2*) uniu-se a família das tecnologias xDSL em 2003 trazendo como principal melhoria a duplicação da banda de *download*, atingindo até 24 Mbps, e *upload* de até 1 Mbps. Entretanto, ADSL2+ trabalhava com distância reduzida do usuário final até o DSLAM mais próximo, permitindo no máximo 1.5 Km de extensão de sua rede de acesso. ADSL2+ trabalhava ainda com faixas de frequência de 26 kHz a 2.2 MHz (MORIMOTO, 2011).

2.2.1.10 *Very High Bit Rate Digital Subscriber Line (VDSL)*

VDSL (*Very High Bit Rate Digital Subscriber Line*), assim como o ADSL é um padrão tecnológico desenvolvido para utilizar a infraestrutura PSTN da rede de

telefonia já existente. Criado como principal propósito de aumentar as taxas de *downstream* e *upstream* (MOURA, 2013).

Em sua primeira versão o VDSL tem capacidade de transmissão de até 55 Mbps de *downstream* e 15 Mbps de *upstream* a curtas distâncias do DSLAM permitindo maior flexibilidade para configuração de taxas de dados em função de não necessitar dividir o espectro de frequência em dois, um para *upstream* e um para *downstream*, existindo várias bandas diferentes tanto para um quanto para outro (MOURA, 2013).

2.2.1.11 Very High Bit Rate Digital Subscriber 2 (VDSL2)

O VDSL2 (*Very High Bit Rate Digital Subscriber 2*) é um padrão avançado de DSL que utiliza uma faixa de frequência de 30 MHz e oferece taxas de *downstream* muito mais altas que o ADSL2+ a curtas distâncias. Caso o assinante esteja bem próximo ao DSLAM, é possível que se obtenha taxas de *downstream* de até 200 Mbps, entretanto a velocidade decai rapidamente conforme a distância aumenta. Chegando ao máximo de 100 Mbps a 500 metros e a 50 Mbps a até 1000 metros do DSLAM (MORIMOTO, 2011).

A partir de 1600 metros sua performance torna-se idêntica à do ADSL2+, banda de *download* atingindo até 24 Mbps, e *upload* até 1 Mbps. Tecnicamente é possível obter padrões ADSL com taxas ainda maiores, tendo em vista a possibilidade de desenvolvimento de chips mais poderosos que possibilitam extrair maiores bandas dos fios de cobre das instalações telefônicas (MORIMOTO, 2011). Porém, desta maneira, o uso da tecnologia torna-se custoso para as operadoras, sendo necessário

realizar o repasse de tais custos aos valores das assinaturas para os clientes finais, sendo este um inconveniente.

Entretanto, a solução definitiva para as redes de acesso é a substituição do cobre por fibras ópticas, possibilitando taxas muito mais altas em distâncias muito maiores (MORIMOTO, 2011). Aliando-se interesses das operadoras, com menor necessidade de instalação de novos COs/DSLAMs e reduzindo custos a serem repassados aos assinantes.

2.2.2 *Passive Optical Networks (PONs)*

Uma arquitetura PON (*Passive Optical Network*) ou de redes óticas passivas consiste de um OLT (*Optical Line Terminal*) situado em um ponto concentrador de rede da operadora de telecomunicações chamado CO (*Central Office*) e em múltiplas ONUs (*Optical Networks Units*) situadas em diferentes localizações o mais próximo possível das residências dos assinantes, que por sua vez estão conectadas ao OLT através de fibras dentro de uma topologia em árvore dada uma certa razão de separação ($1 : N$, onde $N = 2, 4, 8, 16, 32, 64$ e 128), dividindo-se assim a potência total de entrada do sinal no divisor óptico – *optical splitter* – à razão da quantidade de saídas existentes nele utilizando um sistema de acesso multiplexação por divisão de tempo – *Time Division Multiplexer (TDM)*. Apenas um limitado número de ONUs podem estar conectadas a um *splitter* óptico passivo, ou seja, dispositivo de ramificação passivo e então conectadas a uma OLT em comum (AB-RAHMAN et al. 2009).

A figura 2.6 ilustra a arquitetura de uma rede óptica passiva. Conforme indicado pelo seu nome, não existem componentes ativos entre o *central office* (COs) e as

instalações dos assinantes. Elementos ativos são utilizados somente nos COs e nas instalações dos clientes. Os componentes passivos e as fibras entre os COs e as instalações dos usuários finais recebem normalmente a identificação de rede de distribuição óptica – *Optical Distribution Network (ODN)* (KAZOVSKY et al., 2011).

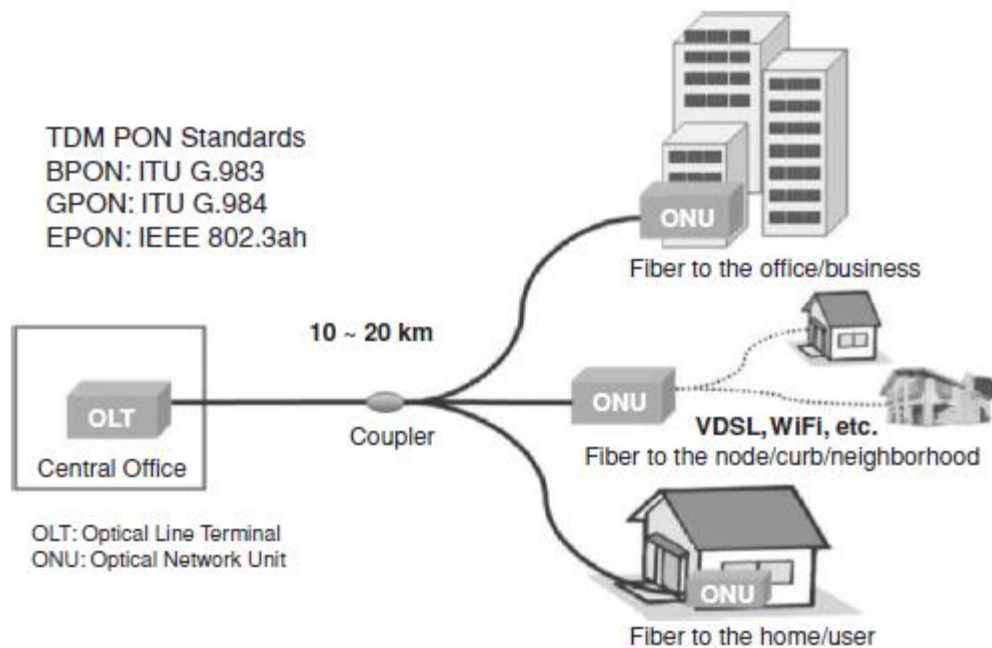


Figura 2.6 – Breve demonstração de redes ópticas passivas [19]

A distância de transmissão em uma rede óptica passiva, conforme sugere a figura 2.6, é limitada em 20 km, segundo especificado nos padrões atuais (KAZOVSKY et al., 2011). Padrões estes que serão apresentados em seus detalhes mais adiante no presente trabalho.

O *splitter* óptico passivo ou divisor óptico fica situado na ODN, sendo este um elemento da rede PON que recebe a fibra oriunda do OLT. Esses divisores ópticos são responsáveis pela derivação da única fibra da entrada para várias fibras na saída. Esta derivação implica na separação dos comprimentos de onda – *Wavelength Division Multiple Access (WDMA)*. Os *splitters* são elementos passivos na rede, o que

significa que economizam energia, espaço nos locais onde ficam alocados e manutenção de equipamentos eletrônicos. Na ODN podem existir vários *splitters*, realizando as derivações necessárias para atender a quantidade de clientes finais (MOURA, 2013).

Usualmente 32 ou 64 caminhos de ramificação são os mais encontrados, porém existindo as outras possibilidades. A arquitetura PON é comumente desenvolvida porque oferece uma solução em matéria de custo-eficiência e escalabilidade que provê grandes capacidades de acesso óptico (AB-RAHMAN et al. 2009).

No *central office*, um *Optical Line Terminal* (OLT) transmite dados no sentido *downstream* utilizando um comprimento de onda de 1490-nm, sendo o *broadcasting* de vídeo enviado através de um comprimento de onda de 1530-nm (KAZOVSKY et al., 2011).

O sinal de *downstream* utiliza *broadcast* e um esquema de seleção, isto é, dados e vídeos no sentido *downstream* são transmitidos em *broadcast* para cada usuário contendo o endereço MAC, assim o usuário seleciona o pacote de dados baseado no seu endereço MAC único. No usuário final, uma unidade de rede óptica – *Optical Network Unit* (ONU) – também chamada de terminal ótica da rede – *Optical Network Terminal* (ONT) – transmite os dados no sentido *upstream* em um comprimento de onda de 1310-nm (KAZOVSKY et al., 2011).

Para evitar colisões, a transmissão no sentido *upstream* lança mão de um protocolo de acesso múltiplo por divisão de tempo – *Time-Division Multiple Access* (TDMA) – para atribuir intervalos de tempos para cada usuário. A este tipo de redes ópticas passivas dá-se o nome de TDM PON (KAZOVSKY et al., 2011).

Conforme apresentado na figura 2.6, os terminais de rede óptica podem ser instalados em pontos diferentes da rede e conforme sua localização surgem suas

diferentes classificações: *Fiber to the office/business* (FTTO/B), *Fiber to the neighborhood/node* (FTTN), *Fiber To The Curb* (FTTC) e *Fiber To The Home* (FTTH) (KAZOVSKY et al., 2011).

2.2.2.1 Especificações para PONs

Vários sistemas de redes ópticas passivas estão atualmente em operação. A medida em que o número de assinantes cresce rapidamente ao redor do mundo e ocorre uma demanda cada vez mais constante de maiores taxas de bits, os sistemas inerentes às PONs seguem em sua contínua evolução, havendo assim uma expectativa de que experimentemos ainda maiores avanços em um futuro próximo (KITAYAMA, 2014).

Da mesma forma em que ocorre o desenvolvimento das redes de telecomunicações em um sentido geral, a normatização dos padrões das diferentes destas tecnologias empregadas nas PONs experimentou e continua experimentando uma constante evolução doravante apresentada nesta seção.

O grupo de trabalho *Full Service Access Network* (FSAN), que consistia de 22 operadoras e aproximadamente 30 fabricantes relacionados às telecomunicações ao redor do mundo foi fundamental no desenvolvimento e contínuo aperfeiçoamento das normas aplicadas às PONs (LIN, 2004).

Dois dos grupos de trabalho FSAN forneceram a base e o muito detalhado ingresso das BPONs e GPONs no *International Telecommunication Union - Telecommunication Sector* (ITU-T) (LIN, 2004).

O grupo de trabalho denominado *Optical Access Network Working Group* (OAN) forneceu ingresso para a Questão 2/Grupo de trabalho 15 do ITU-T, sob a qual as séries G.983 e G.984 foram desenvolvidas (LIN, 2004).

O grupo de trabalho *Operations and Maintenance Working Group* (OAM) ficou responsável de detalhar as especificações para a Questão 14/Grupo de trabalho 4 do ITU-T, sob a qual as séries Q.834 foram desenvolvidas (LIN, 2004). Assim, dois tipos de classes de sistemas de redes ópticas passivas gigabit foram padronizados: *gigabit Ethernet passive optical network* (1G-EPON) pelo *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), que futuramente teve seu acrônimo abreviado para EPON e *gigabit-capable passive optical network* (G-PON) pelo *International Telecommunication Union*, setor de padronização de telecomunicações (ITU-T) (KITAYAMA, 2014). A tabela 2.2 apresenta algumas das principais características destes padrões.

Ressalta-se que anteriormente aos padrões EPON e G-PON, ocorreu o lançamento do padrão *broadband passive optical network* (BPON). Logo, a arquitetura PON evoluiu de BPON à capacidade gigabit G-PON e EPON. Ficando a G-PON especificada pelas séries de normas ITU-T G.984, inclusos nestas, seus requisitos e sua arquitetura básica (G.984.1), a camada dependente do meio físico (G.984.2), a camada de convergência de transmissão (G.984.3) e seus requisitos de gerenciamento (G.984.4). Por outro lado, o IEEE 802.3, Grupo de Trabalho Ethernet do IEEE, ficou responsável pela especificação de duas das camadas mais baixas do modelo de referência *open systems interconnection* (OSI), a camada de enlace e a camada física para a padronização das redes ópticas passivas (KITAYAMA, 2014).

Dentre a forma de acesso ao meio, duas delas foram largamente empregadas nas descrições destas padronizações, *Time Division Multiple Access* (TDMA) e

Wavelength Division Multiple Access (WDMA). As quais serão apresentadas de maneira sucinta nas seções que se seguem.

Tabela 2.2 – Principais tecnologias PONs e algumas de suas características [18]

Características	Tipo de rede óptica passiva		
	BPON	EPON	GPON
Família de normas	ITU-T G.983	IEEE 802.3ah	ITU-T G.984
Protocolo	ATM	Ethernet	ATM e Ethernet
Velocidades de transmissão (Mbps)	622/1244 downstream, 155/622 upstream	1244 downstream, 1244 upstream	155 a 2488 upstream, 1244 ou 2488 downstream
Alcance	20 km	10 km	20 km
Número de splits	32	16 nominal 32 permitidos	64

2.2.2.2 *Time Division Multiple Access* (TDMA)

Tendo em vista várias ONUs compartilharem a mesma fibra para transmissão e recepção do sinal, faz-se necessário lançar mão do uso de tecnologias objetivando a realização do controle do acesso ao meio. TDMA é uma tecnologia que provê acesso múltiplo ao meio por divisão de tempo. Dividindo em vários canais a largura total de banda passante na fibra, utilizando um único comprimento de onda (MOURA, 2013).

De uma forma sincronizada, esses intervalos de tempo disponibilizados, ou *time slots*, transportam informações das ONUs até os OLTs variando de acordo com a largura de banda contratada por cada assinante referente a cada ONU. Essa comunicação é feita de forma *unicast* (transmissão ponto-a-ponto), pois as ONUs conhecem o OLT para onde devem ser enviados os pacotes (MOURA, 2013).

A cada assinante é possibilitado o uso de toda a largura de banda do enlace óptico no sentido *upstream* durante seu tempo alocado no canal. Neste sentido, uma das funções do OLT é atribuir e controlar um *time slot* a cada usuário da rede evitando

assim as colisões de dados no sentido *upstream*. Assim sendo, deve haver uma negociação prévia entre a ONU específica e o OLT definindo quando poderão ser enviados os dados (LEE et al., 2006). Esta questão será tratada em maiores detalhes nos capítulos que se seguem.

2.2.2.3 *Wavelength Division Multiple Access (WDMA)*

WDMA (*Wavelength Division Multiple Access*) é um método altamente eficiente para compartilhamento de uma arquitetura PON. Neste esquema, a cada assinante é atribuído um par dedicado de comprimento de ondas, o que contrasta com a tecnologia TDMA, onde um único par de comprimento de onda é compartilhado entre todos os assinantes conectados à rede PON. O que significa que cada usuário pode enviar dados a qualquer momento no tempo sem negociação de acesso ao meio (LEE et al., 2006).

Assim sendo, cada usuário passa a possuir um canal óptico dedicado com a OLT a qual ele encontra-se conectado, embora ele continue a compartilhar uma arquitetura física ponto-multiponto – *point to multi-point (P2MP)* – em comum (LEE et al., 2006). Neste tipo de arquitetura PON, existe um elemento chamado de nó remoto – *Remote Node (RN)* – também denominado guia de ondas asseguradas – *Arrayed Waveguide Grating (AWG)*. Este guia de onda óptica fica responsável por enviar às ONUs somente o comprimento de onda que lhes é destinado no sentido de *download* (MOURA, 2013).

A vantagem deste esquema é a maior segurança oferecida na transmissão dos dados, bem como a escalabilidade, pois há menos possibilidades de ocorrerem perdas do que no sistema TDMA (MOURA, 2013).

Apresentados os tipos de *passive optical networks* e suas padronizações, a partir dos capítulos seguintes, serão detalhadas as características apresentadas nesta seção e resumidas na tabela 2.1, objetivando melhor definir as diferenças existentes em cada tipo de tecnologia empregada nas redes ópticas passivas.

3 BROADBAND PASSIVE OPTICAL NETWORK (BPON)

Conforme apresentado no capítulo anterior, o padrão *broadband passive optical network* (BPON) é baseado nas séries de recomendações G.983 pertencentes a ITU-T, que especificam o *asynchronous transfer mode* (ATM) como protocolo de sinalização e transporte. Esta escolha se fez já que uma vez que as operadoras de serviços de telecomunicações possuíam uma infra-estrutura de comutação ATM extensivamente incorporada, estas passaram a usar BPON como tecnologia para desenvolver suas redes *fiber to the premises* (FTTP) (KEISER, 2006).

O ímpeto por trás disto é que, além de ser uma tecnologia comprovada, ATM tinha escalabilidade e capacidade de gerenciamento de tráfego flexível, além de robustas características de qualidade de serviços – *quality of services* (QoS) (KEISER, 2006). Abaixo, a figura 2.7 apresenta a arquitetura básica de uma BPON.

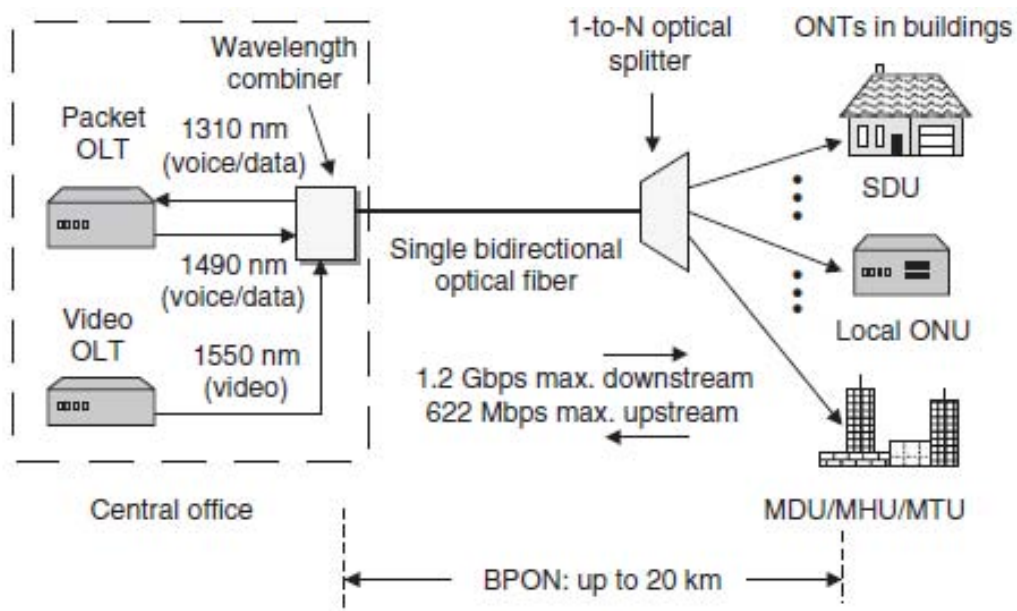


Figura 3.1 – Arquitetura básica de uma BPON [18]

3.1 FLUXO DE TRÁFEGO EM UMA BPON

Na arquitetura BPON, a transmissão no sentido *downstream* utiliza o comprimento de onda de 1590-nm para tráfego combinado de voz e dados, o qual segue encapsulado em células ATM por meio do equipamento de comutação localizado no OLT. Como de conhecimento, células ATM possuem pacotes de comprimento de 53 bytes dos quais 48 deles contém informação útil restando 5 bytes para uso no cabeçalho de controle. Conforme observado na figura 2.7, a norma BPON G.983 padroniza uma largura de banda máxima de 1.2 Gbps para tráfego de *downstream* e uma taxa de transmissão *upstream* de até 622 Mbps. Combinados voz e dados, o tráfego *upstream* é transmitido pela ONT utilizando um comprimento de onda de 1390-nm. Neste tipo de arquitetura, uma única fibra transporta o tráfego de *upstream* e *downstream* (KEISER, 2006).

Um comprimento de onda separado de 1550-nm é utilizado para transmissão de tráfego *downstream* de vídeo para o OLT. Uma das principais aplicações para este tipo de tráfego de única via é a distribuição de vídeo. Esta aplicação possibilita um espectador utilizar um *set top box* para selecionar de um a vários números de canais de TV sobre Internet. Ressalta-se que aqui, o tráfego de vídeo enviado é independente do encapsulamento ATM do tráfego de voz e dados (KEISER, 2006).

Os sinais de vídeo podem ter formato analógico ou digital e ambos seus formatos podem ser enviados simultaneamente como canais de vídeo independentes em diferentes bandas de frequência. Além disso, canais de TV padrão e canais de TV de alta definição (HDTV) podem ser transmitidos simultaneamente sobre a mesma fibra no comprimento de onda de 1550-nm (KEISER, 2006).

A combinação e separação destes três comprimentos de onda no OLT e no ONT são feitas utilizando acopladores do tipo *coarse wavelength division multiplexing* (CWDM). Estes acopladores podem estar localizados no mesmo *rack* dos OLTs ou podem até mesmo permanecer nos quadros de distribuição de fibras – *fiber distribution frames* (FDF) – elementos que são pontos de terminação nas fibras de alimentação que chegam aos *central offices* oriundos da planta de cabos externos (KEISER, 2006).

O tráfego de voz e dados no sentido *downstream* no comprimento de onda de 1490-nm é transmitido utilizando multiplexação por divisão de tempo – *time-division multiplexing* (TDM) – nas células ATM. Já o tráfego de voz e dados no sentido *upstream* (transmitido no formato de células ATM) no comprimento de onda de 1310-nm é feito através de *time-division multiple access* (TDMA) (KEISER, 2006).

3.2 RECURSOS PROVIDOS PELO OLT

Em uma rede real, um único OLT é capaz de gerenciar várias PONs separadas simultaneamente. A figura 2.8 ilustra tal propriedade onde um OLT controla 22 BPONs (KEISER, 2006).

Um OLT que é capaz de controlar múltiplas BPONs pode ser usado em aplicações FTTP para suprir serviços em residências, MDUs e SOHOs, além de pequenas e médias empresas (KEISER, 2006). Este é um típico cenário que demonstra o quanto o uso de PONs pode trazer de economia operacional (OpEx) em uma operadora de telecomunicações.

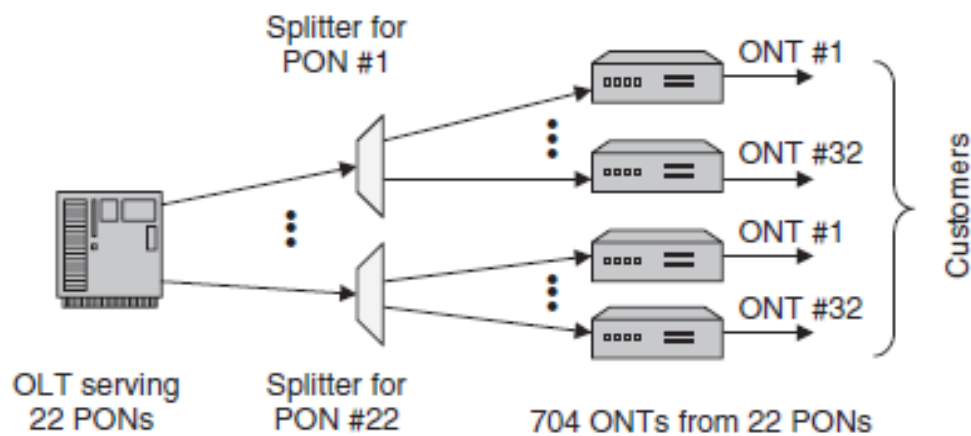


Figura 3.2 – Um único OLT gerenciando 22 B-PONs distintas simultaneamente [18]

Até 32 usuários podem compartilhar cada linha de fibra óptica B-PON conectada ao OLT, o que pressupõe a possibilidade de entrega de serviços *triple-play* para mais de 700 clientes. O tamanho de uma estante para um OLT padrão permite quatro unidades acomodadas em um único *rack* de aproximadamente dois metros, assim sendo, habilita-se a entrega de serviços como voz, vídeo e dados para até 2.816 assinantes por *rack* de equipamentos (KEISER, 2006). Reduzindo substancialmente os custos envolvidos na instalação de equipamentos ativos nas redes de acesso (CapEx).

3.3 CARACTERÍSTICAS OPERACIONAS DAS B-PONs

Aspectos operacionais importantes a fim de se manter alta qualidade de serviço em uma B-PON incluem: utilização eficiente de largura de banda, gerenciamento do conteúdo dos *buffers* nos ONTs e sincronização adequada do tráfego sentido *upstream* no meio compartilhado (KEISER, 2006). Nesta seção apresentam-se as

questões relacionadas ao fluxo de tráfego para os canais de voz e dados e opções para canais de vídeo separados.

3.3.1 Fluxo de tráfego para dados e voz em uma BPON

O OLT, situado no CO, é o elemento responsável por fazer a interface entre a rede da operadora e a rede dos assinantes em uma BPON (KEISER, 2006).

Quando a informação contendo voz e dados chega ao OLT oriundo da rede da operadora, este envia tal informação em formato de células ATM para todos os ONTs daquela determinada BPON utilizando um esquema de multiplexação por divisão de tempo – *time-division multiplexing* (TDM) (KEISER, 2006).

A recomendação ITUT-T G.983.1 especifica taxas para envio de dados no sentido *downstream* em uma BPON em três diferentes níveis de velocidade. São eles: 155,52, 622,08 e 1244,16 Mbps.

Um *frame* especial e uma estrutura de alocação de tempo – *time-slot structure* – são utilizados para enviar e receber estas células ATM (KEISER, 2006).

A figura 3.2 apresenta o formato de um *frame* para uma taxa de 155,52 Mbps, que consiste de 56 células, contendo o comprimento de 53 bytes no padrão de células ATM (KEISER, 2006).

Neste caso, existem dois tipos de células *downstream*. Células contendo dados que carregam informações do tipo: dados propriamente ditos, informação de sinalização e informações de gerenciamento, administração e operação ATM – *ATM operation, administration and management information* (OAM) (KEISER, 2006).

O segundo tipo de célula *downstream* é denominado célula de gerenciamento, administração e operação da camada física – *physical layer OAM* (PLOAM). Estas

células são responsáveis pela sincronização, controle de erros, segurança, manutenção e alocação de largura de banda para a conexão estabelecida (KEISER, 2006).

Um *frame downstream* para uma taxa de 155,52 Mbps contém duas células PLOAM, uma no início e outra no meio do *frame*, além de 54 células de dados. Ainda na figura 3.2 é possível visualizar tais características.

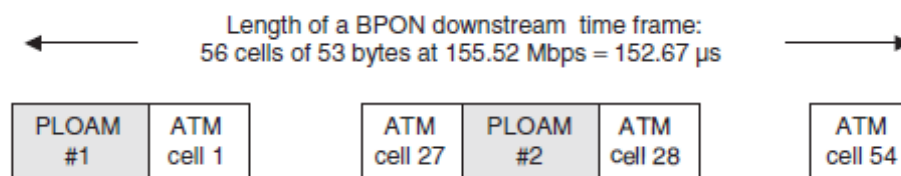


Figura 3.3 – Formato do *frame downstream* de uma BPON na taxa de 155,52 Mbps [18]

Em uma taxa de transmissão de 155,52 Mbps um *frame* tem o tempo de duração de 152,67 μ s. No caso do *frame de downstream* para taxas de 622,08 Mbps são comportadas 244 células, sendo 8 células PLOAM. Em uma taxa de transmissão de 1244,16 Mbps chega-se à 488 células comportadas no *frame*, com 18 células PLOAM (KEISER, 2006).

No sentido de transmissão *upstream* o formato do *frame* para a mesma taxa de 155,52 Mbps comporta 53 células, cada qual com 56 bytes de comprimento. Os 3 bytes adicionais em cada célula são para *overhead*, nos quais o OLT pode programar algumas funções chaves (KEISER, 2006).

Os três bytes de *overhead* contêm um mínimo de 4 bits de janela de proteção – *guard time* – um preâmbulo – *preamble* – e um campo delimitador – *delimiter field*.

A figura 3.3 apresenta o *frame* de *upstream* considerando uma taxa de transmissão de 155,52 Mbps em uma BPON.

O *guard time* prove uma distância suficiente em unidades de tempo entre as células do *frame* com objetivo de evitar colisões com células oriundas de outros ONTs. (KEISER, 2006). Cabendo ressaltar mais uma vez que o meio de transmissão nas PONs é compartilhado em uma única fibra.

A informação contida no campo preâmbulo – *preamble field* – é utilizada para extrair a fase de células ATM que chegam ao OLT relativas ao *clock* local da ONT e serve para obter sincronização de bit (KEISER, 2006).

O campo delimitador – *delimiter field* – é um bit único padrão que indica o início de uma célula que chega e pode ser utilizado para realizar sincronização de byte (KEISER, 2006).

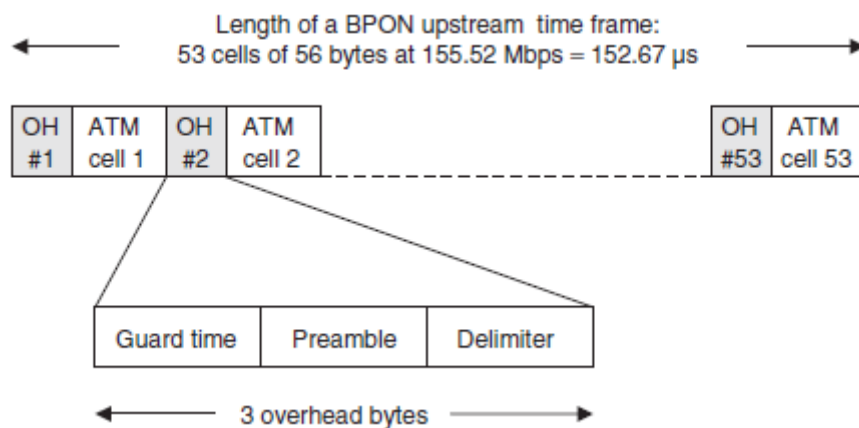


Figura 3.4 – Formato de frame *upstream* BPON para taxa de 155,52 Mbps [18]

As células de tráfego *upstream* também contém células do tipo PLOAM vindas de cada ONT (KEISER, 2006). A recomendação ITUT-T G.983.1 especifica que o OLT define a taxa de células PLOAM para cada ONT, sendo que a taxa mínima fornecida para cada OLT é de uma célula PLOAM a cada 100 ms.

Uma vez que os ONTs utilizam acesso múltiplo por divisão de tempo – *time-division multiple access* (TDMA) para enviarem informações para o OLT, cada ONT precisa estar devidamente sincronizada com todas as demais ONTs pertencentes à BPON (KEISER, 2006).

Para conseguir isso, o OLT lança mão de uma técnica chamada *ranging process*, que serve para determinar o quão distante cada ONT está (KEISER, 2006).

Uma vez conhecida esta distância, o OLT atribui ao ONT um *time slot* de sincronização mais favorável no qual um determinado ONT poderá transmitir sem interferir na transmissão das demais (KEISER, 2006).

Tudo isso é feito através da inclusão de 1 byte de concessão para transmissão dentro da célula PLOAM *downstream*. Cada célula PLOAM contém 27 concessões, as quais cada ONT poderá ler. Contudo, um *frame* de *upstream* necessita de apenas 53 concessões, que são mapeadas dentro das duas células PLOAM existentes no *frame* de *downstream* enviado pelo OLT e lido por todos os ONTs a uma taxa de transmissão de 155 Mbps (KEISER, 2006).

Desta forma, a última concessão da segunda célula PLOAM do *frame* enviado torna-se uma concessão inativa, como segurança. Em uma transmissão assimétrica, isto é, o caso de taxas de 622 Mbps *downstream* e 155 Mbps *upstream*, os campos de concessões da terceira a oitava células PLOAM do *frame downstream* são preenchidos com concessões inativas que os ONTs não utilizarão (KEISER, 2006).

Quando um ONT necessita enviar informação, ele verifica o número de concessão do dado na primeira das duas células PLOAM do *frame* recebido por *downstream* e o compara com seu próprio número, previamente fornecido pelo OLT. Se houver correspondência, o ONT saberá que estará autorizado a transmitir a

informação dentro daquele *time slot* (KEISER, 2006). Assim, fica garantido o controle de colisões nas transmissões da voz e dados em uma BPON.

3.3.2 Fluxo de tráfego para vídeo em uma BPON

A recomendação ITUT-T G.983.1 especifica que para o fluxo de tráfego de vídeo, o comprimento de onda de 1550-nm *downstream* fornece serviço de vídeo para a rede dos assinantes em uma BPON.

O equipamento relacionado a vídeo dentro do CO consiste de um transmissor de rede *headend* que recebe o conteúdo de várias fontes transmissoras de vídeo analógico e digital. O sistema de transmissão *broadcast* utilizado para isso é semelhante ao utilizado em *cable television* (CATV) (KEISER, 2006).

Uma vez que a sobreposição utiliza um comprimento de onda separado de 1550-nm, o processo torna-se transparente para os serviços de voz e dados enviados em *downstream* na mesma fibra em comprimento de onda de 1490-nm. Desta forma, qualquer esquema de codificação pode ser usado para a transmissão de vídeo (KEISER, 2006).

Imediatamente após ao transmissor de vídeo é colocado um amplificador óptico que aumenta o nível de sinal na fibra após ele ter sido enviado pelo cabo de alimentação – *feeder cable* – da BPON. Isso faz-se necessário a fim de que se obtenha uma relação sinal-ruído óptica suficientemente adequada para que o sinal de vídeo siga até às instalações dos clientes BPONs (KEISER, 2006). A figura 3.4 apresenta as características de transmissão de vídeo sobre um BPON.

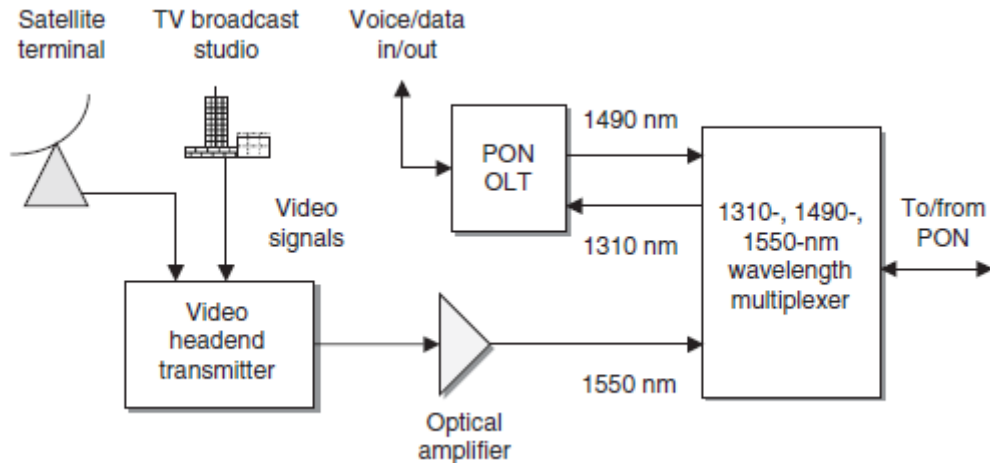


Figura 3.5 – Serviço de sobreposição de vídeo para assinantes BPON [18]

3.4 CONTROLE DE TRÁFEGO EM UMA BPON

Com pode-se imaginar, os clientes ONTs possuem uma grande variedade de necessidades de serviços e, por conseguinte de uso de largura de banda a serem considerados em um projeto BPON. Desta forma, provedores de serviços devem disponibilizar, para seus assinantes, contratos de prestação de serviços individualizados, baseando-se nas reais necessidades de uso da rede (KEISER, 2006).

Nas primeiras implementações das PONs, a alocação de largura de banda era garantida de forma fixa. Este método, no entanto, resultava em grandes quantidades de banda sendo inutilizadas, uma vez que alguns assinantes com frequência não possuíam dados a serem enviados pelos *time-slots* alocados a eles (KEISER, 2006).

Assim sendo, alocar dinamicamente a banda para cada usuário torna-se um método mais eficiente, adequando-se às necessidades específicas em cada dado momento (KEISER, 2006).

Esta seção apresentará como as redes BPONS, baseadas na série de recomendações ITU-T G.983, particularmente a recomendação ITU-T G.983.4, lançam mão destes dois distintos métodos de alocação de banda aos seus usuários.

3.4.1 Alocação fixa de largura de banda

No mais simples cenário de alocação de banda, o incremento de serviço vendido a cada cliente é feito de forma fixa, o chamado *mailed-up bandwidth* ou *fixed bandwidth allocation*. Este método não usa de modo eficiente a largura de banda disponível em uma fibra. Caso um assinante em particular não tenha informação a ser enviada durante algum intervalo de tempo, este segmento de banda não utilizado na rede não fica disponível para outro ONT que pode ter uma grande quantidade de informação aguardando seu determinado *slot time* para ser enviada (KEISER, 2006).

Consideremos o caso em que cada um dos três ONTs distintos em uma BPON alocam uma largura de banda fixa de 5 Mbps, isto é, cada um possui uma contratação de serviço de taxa constante de 5 Mbps, conforme ilustra a figura 3.5.

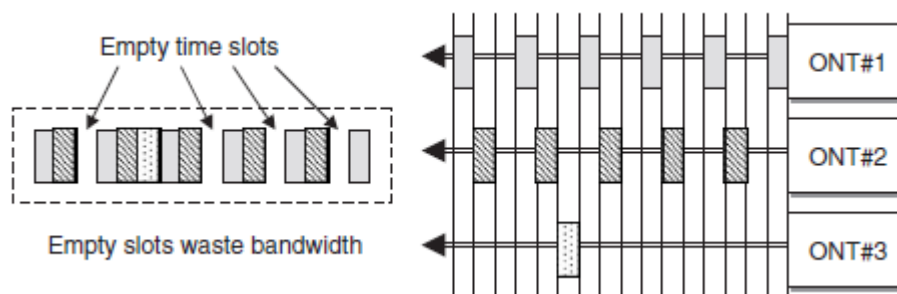


Figura 3.6 – Cenário de alocação fixa de largura de banda em uma BPON [18]

Supondo que o ONT#2 possui uma grande quantidade de dados aguardando em uma fila e que ONT#3 não tem nenhuma informação a ser enviada.

Nesta situação, apenas uma pequena fração da largura de banda alocada para o ONT#3 é utilizada para o envio de células inativas – *idle cells* – de forma a manter sua sincronização no enlace. Contudo, uma vez que a alocação de largura de banda por ONT é fixa, o ONT#2 não pode usufruir das células ATM ativas obsoletas do ONT#3 para transmitir mais rapidamente seu tráfego que aguarda na fila.

Considerando que a transmissão de dados tipicamente é feita em rajadas, uma larga porção da largura de banda desta BPON pode permanecer em desuso com a utilização de atribuição fixa aqui descrita (KEISER, 2006). Tornando-se assim um desperdício de recursos no cenário apresentado.

3.4.2 Alocação dinâmica de largura de banda

Quando se utiliza uma alocação de largura de banda fixa, *buffers* começam a transbordar em um ONT se a informação que necessita ser enviada chega em rajadas. Tal condição resulta em pequenas variações no atraso – *jitter* – no tráfego das células ATM, o que pode levar a degradação da qualidade do sinal recebido (KEISER, 2006).

Não obstante a isso, quando os *buffers* estão plenos o congestionamento de tráfego pode levar ao descarte destas células. A minimização dos efeitos do *jitter* e do congestionamento do tráfego para manter uma boa qualidade de serviços em uma BPON pode ser obtida mediante o uso de alocação dinâmica de largura de banda de acordo com os distintos requisitos de transmissão de cada particular cliente ONT (KEISER, 2006).

Alocação dinâmica de largura de banda – *dynamic bandwidth allocation* (DBA) – é o método que permite rápida repartição de banda em uma BPON baseando-se nos requisitos do tráfego corrente (KEISER, 2006).

Como é de se supor, o processo DBA é controlado pelo OLT mediante o uso das concessões – *grants* – ou autorizações que permitem um determinado ONT transmitir dentro de um específico *time slot*. O controle de tráfego *upstream* é feito pela atribuição destas concessões com uso de distintos *traffic containers* (T-CONTs), que nada mais são do que categorias de fluxo de tráfego *upstream* definidos dentro do ONT. Para determinar quanta largura de banda deve ser concedida para cada ONT, o OLT necessita saber o atual estado do tráfego do T-CONT associado (KEISER, 2006).

Existem duas formas de se obter tal informação definidas nas recomendações ITU-T G.983. São elas: método de relatório do estado – *status reporting method* – e procedimento de monitoramento de células inativas – *idle cell monitoring procedure* (KEISER, 2006).

No método de relatório de estado um T-CONT indica quantos pacotes estão aguardando transmissão no *buffer*. Uma vez que o OLT recebe esta informação, ele é capaz de reportar quantas concessões serão dadas a cada ONT (KEISER, 2006).

Em contrapartida, o procedimento de monitoramento de células inativas é feito unicamente no OLT. Quando um ONT não possui dados aguardando para serem enviados, este, ao receber a concessão do OLT responde com uma célula inativa de sincronização – *idle cell upstream* – indicando que seu *buffer* encontra-se vazio. Isso informa ao OLT que as concessões para aquele específico T-CONT podem ser atribuídas para outros T-CONTs. Assim, se outro ONT possuir uma longa fila de espera em seu *buffer*, o OLT pode atribuir múltiplos T-CONTs a ele (KEISER, 2006).

A recomendação ITU-T G.983.4 especifica que existem cinco tipos de categorias de T-CONTs, dependendo de parâmetros operacionais explicitados no *service level agreement* (SLA) para um particular ONT, dentre eles, prioridades de serviços e QoS. Estes diferentes tipos de T-CONTs são apresentados na tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Definições de T-CONTs e seus respectivos serviços [18]

Traffic Container	Largura de Banda Atribuída	Características
T-CONT 1	Fixed	Largura de banda garantida para aplicações sensíveis ao tempo de transmissão especificação contida na G.983.1
T-CONT 2	Assured	Largura de banda garantida para aplicações não sensíveis ao tempo de transmissão
T-CONT 3	Nonassured	Largura de banda mínima garantida além de excedente adicional de largura de banda não garantida para aplicações não sensíveis ao tempo de transmissão
T-CONT 4	Best effort	Largura de banda excedente dinamicamente independente da largura de banda assegurada
T-CONT 5	All	Mistura de todos os tipos de categorias

A DBA mostra-se então um eficiente método dinâmico que permite rápida distribuição da banda em uma BPON. Sendo o processo DBA controlado pelo OLT, situado a até 20 km de distância do cliente final da rede de acesso permite-se uma redução considerável nos custos operacionais (OpEx) e custos de instalação (CapEx) para as operadoras.

4 **ETHERNET PASSIVE OPTIAL NETWORK (EPON)**

Este capítulo apresentará o conceito *Ethernet in the first mile* possibilitado mediante o uso das *Ethernet passive optical networks* (EPONs) que terão suas características aqui detalhadas.

O extensivo uso das BPONs no desenvolvimento de redes com fibra até as instalações – *fiber to the premises* (FTTP) – é impulsionado pelo fato das operadoras já possuírem uma infraestrutura de comutação baseada no uso do protocolo ATM extensivamente incorporada. Muito embora o protocolo ATM seja uma tecnologia comprovadamente escalável e flexível no que se refere a sua robustez em QoS e capacidade de gerenciamento de tráfego, este também possui certas limitações a serem consideradas para a execução de um projeto de redes (KEISER, 2006).

ATM segmenta diferentes tamanhos de pacotes IP em células de tamanho fixo com um campo *payload* de 48 bytes ou menos. Seu protocolo então adiciona um cabeçalho de 5 bytes, o que resulta em aproximadamente 10% de *overhead* (5 de 53 bytes) na transmissão de uma única célula. Desta forma, uma única célula ATM corrompida ou descartada sugere a retransmissão de todo o pacote IP, mesmo que outras células ATM, pertencentes ao mesmo pacote IP, possam ter sido corretamente recebidas. Tal característica resulta em um grande *overhead* na largura de banda disponível da rede, bem como um alto custo de processamento para resolução desta questão (KEISER, 2006).

O difundido uso do protocolo Ethernet em LANs e MANs faz desta tecnologia de transporte de dados uma das alternativas para as redes de acesso. Uma vez que ocorre encapsulamento e transporte de dados em *frames* Ethernet, torna-se fácil carregar pacotes IP sobre enlaces Ethernet, o que simplifica a interoperabilidade entre

elementos ativos das MANs e WANs com aqueles instalados nas LANs quando comparado com o uso da tecnologia BPON (KEISER, 2006).

Neste capítulo serão apresentados alguns detalhes das características inerentes a este tipo de tecnologia com objeto de sustentar a questão fundamental deste trabalho que é aliar interesses das operadoras juntamente com as necessidades de seus clientes.

4.1 EPON COMO ETHERNET *IN THE FIRSTE MILE*

Ethernet *passive optical network* (EPON) é uma das três possíveis implementações previstas pelo padrão IEEE 802.ah que se destina a normatização de redes de acesso baseadas no protocolo Ethernet, denominadas Ethernet na primeira milha – *Ethernet in the first mile* (EFM) (KEISER, 2006).

O padrão IEEE 802.ah EFM define ainda o uso de enlaces ponto-a-ponto – *point-to-point* (P2P) – para conectar usuários finais e os COs diretamente. Um deles sobre cabos de cobre e outro sobre cabos de fibra óptica. Este padrão prevê o uso de muitas linhas ligando as instalações dos assinantes com os COs ou um único enlace de fibra ou cobre para conectar o *central office* ao comutador de distribuição local – *local switch*. A figura 4.1 ilustra estas três variações.

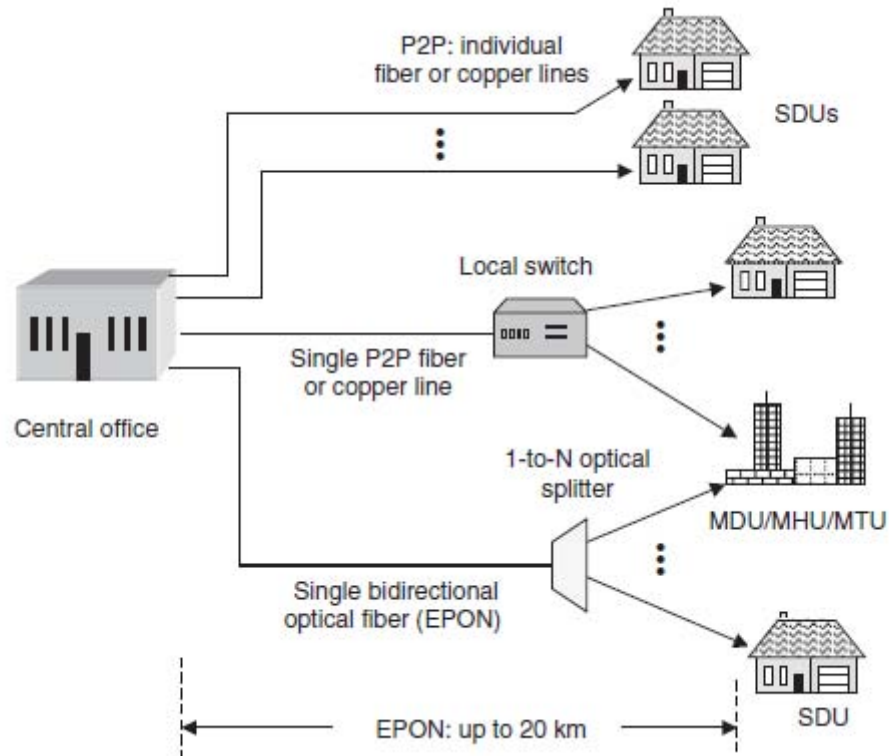


Figura 4.1 – Três diferentes esquemas de camada física para EFM [18]

4.2 ARQUITETURA EPON

A figura 4.2 apresenta uma arquitetura básica e o conceito operacional de uma EPON, a qual possui um cabo de alimentação – *feeder cable* – conectando o *central office* até o divisor óptico – *optical splitter* (KEISER, 2006).

Até 32 ramais de distribuição podem ter origem no *splitter* e fazer interface com os ONTs da EPON (KEISER, 2006). O padrão IEEE 802.ah EFM também prevê as condições operacionais para uma distância máxima de transmissão de 10 e 20 km entre o OLT e um determinado ONT.

A distância de transmissão atingível depende diretamente do tamanho do divisor óptico, podendo ser de 16 e 32 portas de assinantes, e se este é um *splitter* óptico de curto ou longo alcance de potência (KEISER, 2006).

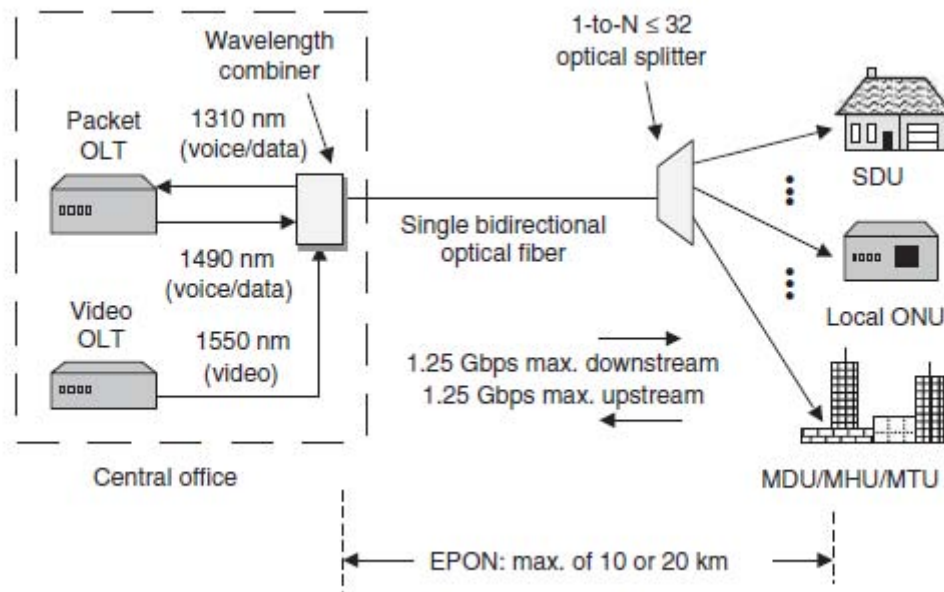


Figura 4.2 – Arquitetura básica de uma EPON [18]

Implementações EPON utilizam o controle de acesso ao meio Ethernet – *media access control* (MAC) – e seus *chip sets* da camada física. Isto resulta em uma significativa economia tendo em vista a alta disponibilidade e a comprovada confiabilidade destes dispositivos (KEISER, 2006).

Analogamente ao esquema BPON, uma EPON utiliza o comprimento de onda de 1490-nm para realizar transmissões de voz e dados no sentido *downstream* para os ONTs e 1310-nm de comprimento de onda para tráfego *upstream*, do ONT para o OLT. A janela de 1550-nm fica disponível para demais serviços, como transmissão de vídeo em múltiplos canais do OLT para os usuários finais (KEISER, 2006). O padrão IEEE 802.ah EFM baseado no padrão de protocolo gigabit Ethernet, define a taxa nominal das EPONs em 1250 Mbps.

4.2.1 Definindo funções das ONU/ONT e OLT em EPONs

De maneira similar às funções definidas em outras arquiteturas de PONs, em uma EPON um OLT atua como controlador central da rede. Toda comunicação ocorre entre o OLT e os ONTs, desta forma não existe nenhuma interação direta entre ONTs de uma mesma EPON. Algumas das funções chaves de um OLT, segundo define o padrão IEEE 802.ah EFM incluem:

- 1) Determinar continuamente se houve ONTs juntando-se ou deixando a rede por ela controlada. Processo denominado *discovery process*;
- 2) Controlar o registro de ONTs recém ingressas na rede;
- 3) Atribuir quantidades variadas de largura de banda para transmissão *upstream* para cada ONT;
- 4) Executar um *ranging process* para calcular a variação no tempo de transmissão – *transmission time delay* – entre o OLT e cada ONT; e
- 5) Gerar mensagens *time-stamped* para fins de referência de tempo global.

4.2.2 Fluxo de tráfego em uma EPON

Dados em uma EPON são transportados em frames Ethernet padrão (KEISER, 2006), os quais podem variar em comprimento, conforme estrutura interna especificado na norma IEEE 802.3, de 72 a 1526 bytes. A Figura 4.3 ilustra o formato de um *frame* Ethernet.

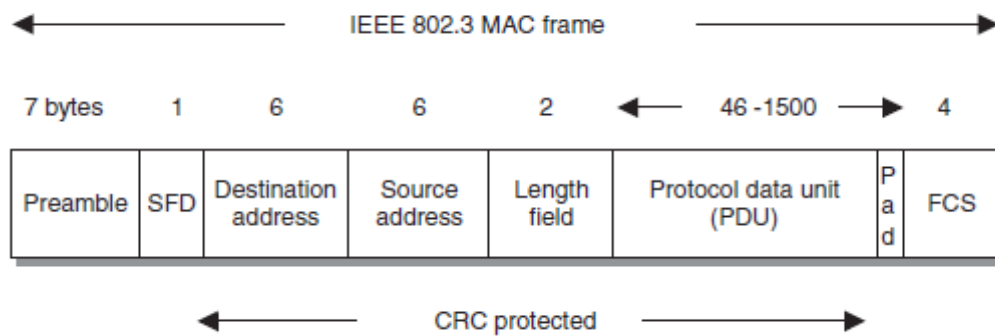


Figura 4.3 – Formato de um *frame* Ethernet padrão [18]

Em uma EPON o campo preâmbulo – *preamble field* – torna-se desnecessário tendo em vista a natureza operacional *full-duplex* da rede. Este fator é extremamente vantajoso para incorporar o endereço do ONT no *frame* Ethernet. Desta forma, ao invés de aumentar o tamanho do cabeçalho do quadro Ethernet para acomodar um rótulo – *tag* – para identificar qual ONT deve aceitar o *frame*, esta informação simplesmente substitui alguns dos bits do preâmbulo do quadro Ethernet padrão não utilizados. Conseqüentemente, o quadro EPON passa a possuir o mesmo tamanho e formato do quadro Ethernet padrão com exceção do campo preâmbulo e do campo de delimitação de início do *frame* – *start frame delimiter* (SFD) – que são substituídos pelos seguintes campos relacionados à EPON, também apresentados na figura 4.4 (KEISER, 2006):

- 1) Um delimitador de início de pacote – *start-of-packet delimiter* (SPD) contendo 1 byte, o qual possui a informação de *clock*. Para isso o OLT envia a sincronização para os ONTs a cada 2 ms;
- 2) 3 bytes reservados para uso futuro;
- 3) Um *tag* chamado de identificador lógico de enlace – *logical link identifier* ((LLID) contendo 2 bytes; e

- 4) Um *frame check sequence* (FCS) contendo 2 bytes que permitem transportar informação de detecção de erros para o quadro EPON.

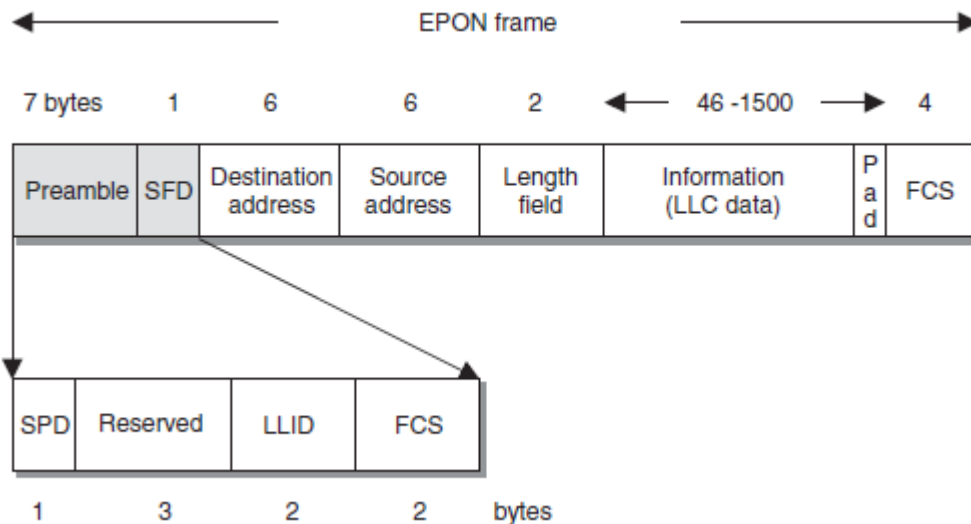


Figura 4.4 – Formato do *frame* EPON [18]

No fluxo *downstream*, o OLT faz difusão – *broadcasting* – de *frames* Ethernet para as ONTs. Este processo é compatível com a natureza inerente de *broadcast* do protocolo Ethernet. Cada ONT recebe e filtra os *frames* baseando-se no *tag* LLID adicionado ao quadro pelo OLT. Por exemplo, um ONT rejeitará *frames* intencionados para outros ONTs e também irá descartar *frames broadcast* que outros ONTs tenham gerado (KEISER, 2006).

Quando o *frame* é enviado de volta para o OLT, um ONT acrescenta sua própria assinatura LLID nele. Ressalta-se que este LLID existe apenas dentro da própria EPON, uma vez que o OLT retira o LLID antes de enviar o pacote para o equipamento do cliente. Um procedimento especial precisa ser seguido para o tráfego que segue no sentido *upstream* afim de evitar colisões entre pacotes que possam ser enviados simultaneamente por diferentes ONTs. Esse procedimento é realizado pelo protocolo

de controle multiponto – *multipoint control protocol* (MPCP) – que define os canais de acesso entre o CO e os assinantes da rede EPON (KEISER, 2006).

O MPCP realiza, desta forma, a atribuição *upstream* de largura de banda dinâmica – *dynamic bandwidth allocation* (DBA) – para os vários serviços dos assinantes, conforme especificado na norma IEEE 802.3ah.

4.2.3 Níveis de potência dentro da EPON

Em uma PON, a natureza de chegada de pacotes em rajada no OLT resulta em uma grande variação de níveis de potência e de fases. A variação de níveis de potência ocorre tendo em vista os sucessivos pacotes vindos de diferentes ONTs que estão localizados em distâncias significativamente distintas do OLT que controla a rede. Portanto, faz-se necessário o uso dos chamados receptores em modo rajada – *burst mode receivers* – que podem ser adaptados às variações de potência óptica e ao alinhamento de fases (KEISER, 2006).

4.3 FUNÇÕES *MULTIPOINT CONTROL PROTOCOL*

Como visto, EPONs utilizam MPCP com objetivo de regular o fluxo de tráfego *downstream* e *upstream*. Dentro deste protocolo incluem-se os processos de autodescoberta, registro de ONT, *ranging*, agrupamento de largura de banda e atribuição de largura de banda. Mensagens especiais de controle contendo 64 bytes são utilizadas em EPONs para atingir estes objetivos (KEISER, 2006).

4.3.1 Fase de descoberta

Uma importante característica em uma EPON é a habilidade de reconhecer a presença de um ONT e então registra-lo na rede, negociar parâmetros operacionais, atribuir um LLID, alocar largura de banda para transmissão *upstream* e compensar os atrasos para o tempo de ida e volta do pacote na rede – *round-trip time*. Quando um ONT é ligado ou reservado, ele aguarda a descoberta de uma GATE *message* contendo a revelação do LLID proveniente do OLT. O OLT realiza periodicamente *broadcasts* desta mensagem para todos os ONTs. O processo de descoberta é então transportado através de uma série de mensagens especiais de controle: GATE *message*, REGISTER_REQUEST *message*, REGISTER *message* e REGISTER_ACK (KEISER, 2006).

Graças a esta negociação de mensagens de controle – *handshaking* – torna-se possível registrar um determinado ONT como pertencente a uma EPON contendo um único LLID atribuído, o qual é estritamente necessário para alocação de *time slots* de concessão de largura de banda. O tempo para efetivação deste processo dura menos de 1 segundo (KEISER, 2006).

4.3.2 Atribuição de largura de banda

Como mencionado, em uma rede de acesso, assinantes tendem a submeter tráfego para a rede em forma de rajadas. Tal comportamento contrasta com o encontrado em MANs e WANs, onde o fluxo de tráfego tende a ser relativamente plano, devido a agregação de tráfego de diferentes fontes (KEISER, 2006).

Para lidar com esta situação particular, em uma PON a transmissão no sentido *upstream* é dividida em unidades denominadas *time-slots*. O OLT controla e atribui estes *time-slots* aos ONTs baseando-se em seus requisitos de transmissão. E conforme abordado anteriormente, estas unidades de tempo podem ser alocadas dinamicamente de acordo com a necessidade de cada ONT (KEISER, 2006).

Com uso de DBA, qualquer unidade reservada ou fração de unidades de largura de banda que não estão sendo utilizadas podem ser realocadas pelo OLT para outros ONTs que possam estar necessitando (KEISER, 2006).

Para atribuir largura de banda, uma EPON, baseada no uso do MPCP, emprega mensagens de controle REPORT e GATE. O ONT utiliza a REPORT *message* para indicar sua requisição de largura de banda ao OLT. Tipicamente esse processo é realizado utilizando filas de ocupações, uma vez que cada ONT possui um conjunto de *buffers* que mantem *frames* Ethernet em filas, as quais estão prontas para serem transmitidas no sentido *upstream* para o OLT. Uma mensagem REPORT de um ONT pode indicar o *status* de até 8 filas e cada fila pode conter múltiplos limiares – *thresholds*. Um ONT que informar o *status* de oito filas poderá ter até dois *thresholds* para cada fila (KEISER, 2006).

Caso o ONT tenha apenas uma única fila em espera em determinado momento, é permitido a ele informar até 13 *thresholds*. Estes *thresholds* são as solicitações de taxa de transmissão encaminhadas ao OLT. Quando o OLT recebe a REPORT *message*, ele direciona esta mensagem para o seu algoritmo DBA. Este algoritmo então calcula um agendamento de transmissão *upstream* para todos os ONTs da rede. Quando o sistema DBA completa o agendamento *upstream*, o OLT transmite GATE *messages* emitindo assim as concessões de transmissão aos ONTs. Desta forma completa-se um ciclo de atribuição de largura de banda na EPON. A figura 4.5

exemplifica as mensagens de controle acima apresentadas para uma compreensão visual das mesmas (KEISER, 2006).

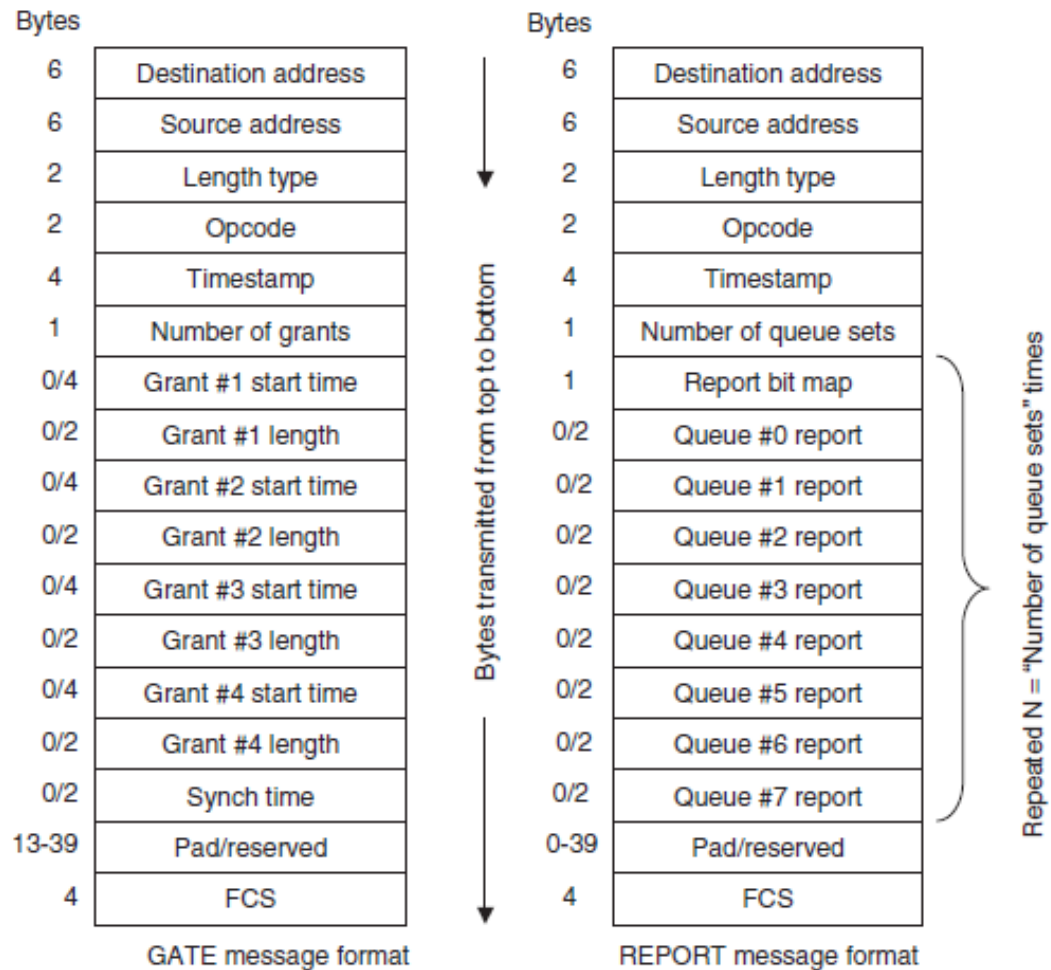


Figura 4.5 – Mensagens de controle REPORT e GATE em um EPON [18]

4.3.3 Tempo de transmissão

Esta seção visa apresentar um assunto extremamente importante no que se refere ao funcionamento da EPON, a sincronização necessária para transmissão das mensagens. Para que um ONT transmita em um específico *time-slot*, é necessário que este esteja sincronizado com o OLT e os outros ONTs. Esta sincronização se

processa mediante uma troca de mensagens de controle denominadas *time-stamped*, que ocorrem entre o OLT e o ONT (KEISER, 2006).

Por consequência, concessões para os ONTs também especificam um tempo de início e um comprimento de transmissão para eles. Cada ONT atualiza seu relógio local utilizando o selo de tempo – *time-stamp* – contido em cada concessão de transmissão que ele recebe do OLT (KEISER, 2006).

Graças a este procedimento cada ONT na rede adquire e mantém uma sincronização global com o resto da EPON. A figura 4.6 ilustra o procedimento para obtenção da temporização global (KEISER, 2006).

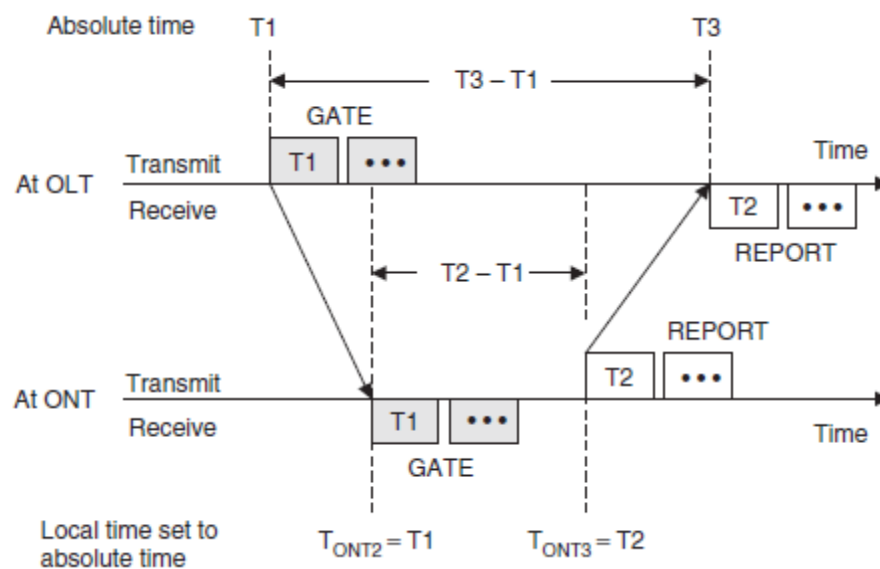


Figura 4.6 – Estabelecimento da temporização global em uma EPON [18]

Primeiro o OLT envia um GATE *message* em um tempo absoluto T_1 , o qual baseia-se no relógio do OLT. Um ONT recebe o GATE *message* no horário local T_{ONT2} e reinicia seu horário local para o tempo absoluto T_1 . O ONT então envia um REPORT *message* como resposta ao OLT no horário local T_{ONT3} , que agora é o tempo absoluto T_2 . Por consequência o *time stamp* neste REPORT *message* lê T_2 .

O OLT recebe o REPORT *message* no tempo absoluto T3. Desta maneira o tempo de ida e volta – *round-trip time* (RTT) – é dado por:

$$\text{RTT} = (T3 - T1) - (T2 - T1) = T3 - T2$$

Este valor é então utilizado pelo OLT para calcular a compensação de atraso para o ONT.

5 GIGABIT-CAPABLE PASSIVE OPTICAL NETWORK (GPON)

A crescente demanda por velocidades de transmissões cada vez mais altas nas redes de acesso aliada ao disseminado uso dos protocolos ATM e Ethernet geraram a ideia do desenvolvimento de uma PON com capacidades além daquelas encontradas nas arquiteturas BPON e EPON (KEISER, 2006).

Em face a esta crescente demanda, surgiu a recomendação ITU-T G.984.1 que descreve uma rede de acesso sobre fibra óptica capaz de suportar tais requisitos de largura de banda de serviços empresariais e residenciais. Este capítulo abordará em detalhes as principais características das GPONs.

5.1 ARQUITETURA GPON

A disposição de uma rede GPON segue os conceitos de uma PON padrão. GPON mantém muitas das funcionalidades encontradas no esquema das BPONs e EPONs, sendo elas: atribuição dinâmica de largura de banda – *dynamic bandwidth assignment* (DBA) – e o uso de mensagens de manutenção, administração e operação da rede – *operations, administration and maintenance messages* (OAM) (KEISER, 2006).

Em contraste com as arquiteturas BPON e EPON, que foram desenvolvidas sobre o ponto de vista dos fornecedores de equipamentos, o esquema operacional da GPON é um projeto mais centrado nos clientes. Isto foi refletido nas especificações dos requisitos de serviços para uma GPON – *GPON service requirements* (GRS) descritas na recomendação ITU-T G.984.1. A figura 5.1 apresenta a arquitetura de uma *gigabit-capable passive optical network* (GPON).

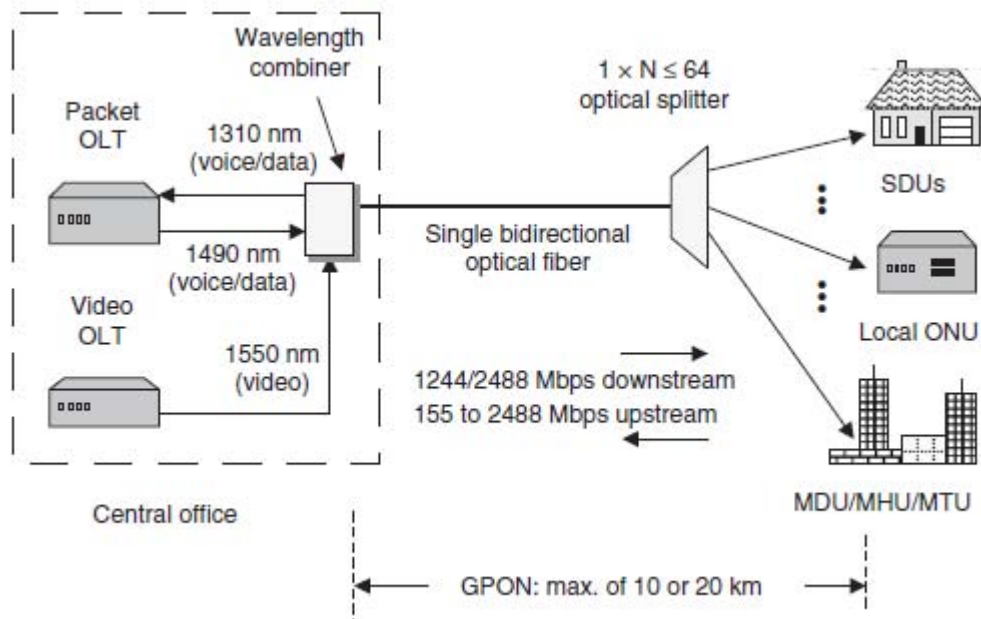


Figura 5.1 – Características e arquitetura de uma GPON [18]

5.1.1 Especificações para requisitos de serviços na GPON

Conforme especificado na recomendação ITU-T G.984.1, uma GPON deve ser uma rede de serviço completo, o que significa que ela deve ser capaz de transportar todos os tipos de serviços. Isto inclui protocolo Ethernet de 10 e 100 Mbps, o legado da telefonia analógica, tráfego digital T1/E1 (1.544 e 2.048 Mbps respectivamente), a modalidade assíncrona de transferência de pacotes – *asynchronous transfer mode* (ATM) – e uma maior capacidade de tráfego para linhas alugadas.

O sistema *gigabit-capable passive optical network* (GPON) abrange sistemas com taxas nominais de transmissão *downstream* de 1.5 Gbps (1244.160 Mbps) e 2,5 Gbps (2488.320 Mbps) e taxas de transmissão *upstream* de 155 Mbps, 622 Mbps, 1.25 Gbps e 2.5 Gbps. A taxa de transmissão de dados pode ser simétrica (a mesma taxa em ambas as direções) ou assimétrica (contendo taxas superiores sendo

enviadas no sentido *downstream* do OLT para os ONTs em comparação com as taxas sentido *upstream*). Desta maneira, ao provedor de serviço fica permitido oferecer taxas de *upstream* mais baixas para aquelas GPONs em que o tráfego de *downstream* seja muito maior. É o exemplo no caso em que o assinante usa o serviço de dados IP essencialmente para baixas demandas de taxas *upstream* em navegação Internet ou transmissão de e-mails e *downloads* de grandes arquivos que demandam altas taxas de transmissão *downstream*. A tabela 5.1 destaca as principais especificações para requisitos de serviços em uma GPON – *GPON service requirements* (GRS).

Tabela 5.1– Requisitos de serviços para GPONs [18]

Parâmetro	Especificação GSR (GPON service requirements)
Serviço	Serviços Completos: Por exemplo, 10/100 BASE-T Ethernet, telefonia analógica, SONET/SDH TDM, ATM
Taxa de acesso a dados	Downstream: 1.244 e 2.488 Gbps; Upstream: 155 Mbps, 622 Mbps, 1.244 Mbps, 2.488 Mbps
Distância	10 ou 20 km no máximo
Número de divisões	Máximo de 64
Comprimentos de onda	Downstream voz/dados: 1480 a 1500-nm; upstream voz/dados: 1620 a 1360-nm Downstream para distribuição de vídeo: 1550 a 1560-nm
Comutação de proteção Segurança	Proteção de redundância completa 1 + 1; proteção de redundância parcial 1 : N Informação de segurança a nível de protocolo para tráfego de downstream: por exemplo, uso de <i>Advanced Encryption Standard</i> (AES)

Como é possível observar na figura 5.1, os comprimentos de onda especificados para uma GPON são: de 1480-nm a 1500-nm para tráfego *downstream* (voz e dados) e 1260-nm a 1360-nm para seus correspondentes tráfegos de *upstream*.

Assim sendo, os valores médios de comprimentos de onda são de 1490-nm e 1310-nm, os mesmos utilizados no padrão dos sistemas BPON e EPON. Permanecendo, da mesma forma que nos sistemas BPON e EPON, a faixa de

comprimento de onda de 1550-nm a 1560-nm reservada para distribuição de vídeo *downstream* (KEISER, 2006).

Dependendo das capacidades dos transmissores e receptores ópticos, a recomendação GPON especifica transmissões máximas de 10 ou 20 km. Ainda, numa GPON, o número máximo de caminhos ou divisões é na ordem de 64 portas (KEISER, 2006).

5.1.2 Proteção de comutação na GPON

Trataremos nesta seção o esquema de proteção de comutação previsto para GPONs. A recomendação ITU-T 984.1 descreve o uso de um mecanismo para proteção de comutação que é compatível com a operação das BPONs. O que permite vários diferentes tipos de configurações de PONs, incluindo redundâncias de enlaces e proteção de equipamentos de rede. Entre estes estão a proteção de redundância completa $1 + 1$ e a proteção de redundância parcial $1 : N$ (KEISER, 2006).

No tráfego de proteção $1 + 1$, a transmissão ocorre da origem até o destinatário simultaneamente sobre duas linhas de fibras distintas. Tipicamente estes dois caminhos não são sobrepostos em ponto algum, de maneira que caso ocorra rompimento em um cabo, este afetará apenas um caminho de transmissão da fibra. A Figura 5.2 ilustra o esquema de proteção $1 + 1$ (KEISER, 2006).

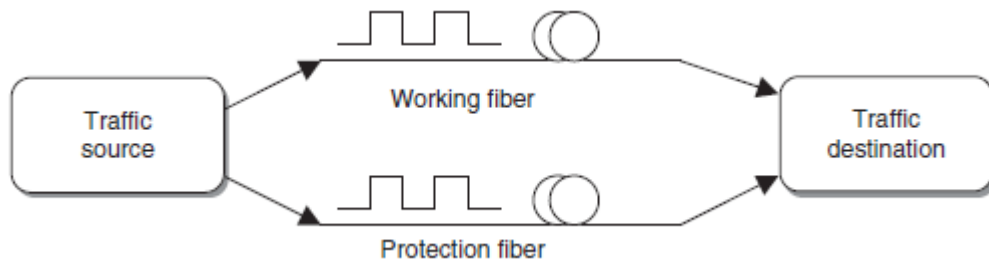


Figura 5.2 – *Links* de proteção de redundância completa 1 + 1 GPON [18]

No esquema de proteção 1 + 1, o equipamento receptor seleciona um dos *links* para operar como fibra de transmissão – *working fiber* – para receber a informação. Em caso de uma fibra deste enlace ser cortada ou o equipamento de transmissão neste enlace falhar, os *switches* receptores rodando sobre a fibra de proteção – *protection fiber* – entram em ação mantendo a recepção da informação sem ocorrência de perdas. Este esquema de proteção mantém uma rápida transição durante falhas e não requer um protocolo de sinalização de proteção entre a origem e o destino. Contudo, faz-se necessário o uso de fibras duplicadas e redundância de equipamentos de transmissão para cada um destes enlaces – uma vez que eles permanecem operando em conjunto durante todo o tempo de transmissão (KEISER, 2006).

Tratemos agora do outro processo de proteção definido na ITU-T 984.1. O procedimento de proteção 1 : N oferece maior economia no que se refere ao uso de fibras e equipamentos. Conforme pode ser visualizado na figura 5.3, um cabo de proteção é compartilhado para as N fibras de transmissão – *working fibers*.

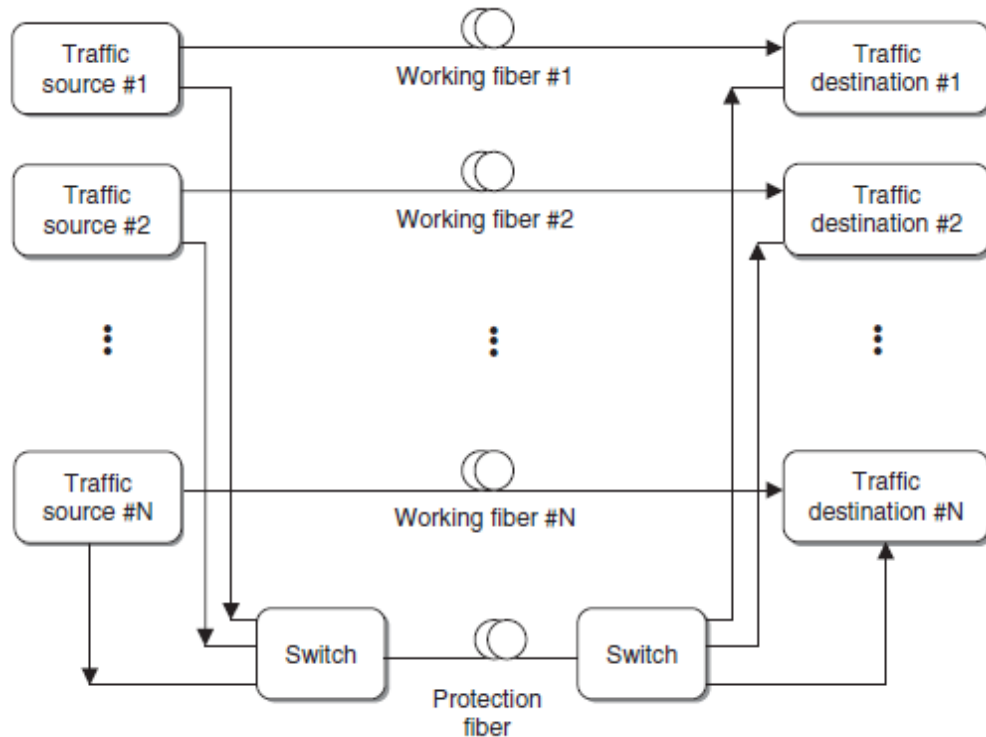


Figura 5.3 – Procedimento de proteção de redundância parcial 1 : N GPON [18]

Esta combinação oferece proteção na ocorrência de falha em umas das fibras de transmissão – *working fibers* – por vez. Este nível de proteção adequa-se para a maioria das redes operacionais existentes, desde que seja assegurado que uma única ou mesmo múltiplas falhas sejam eventos raros na rede (uma vez que todas as fibras têm sua proteção de transmissão asseguradas sobre o mesmo cabo) (KEISER, 2006).

Em contraste com o método de proteção 1 + 1, no esquema de proteção 1 : N, durante uma operação normal de transmissão, o tráfego é enviado somente sobre as fibras de transmissão. Quando ocorre uma falha em um *link* em particular, a fonte e o destinatário fazem a transição para a fibra de proteção. Este método requer um protocolo de sinalização de comutação automático entre os nós das extremidades a fim de que possa ser habilitado o enlace de proteção.

5.1.3 Segurança da Informação em uma GPON

Assim como no caso de outras arquiteturas PONs, uma vez que os dados transmitidos no sentido *downstream* do OLT para os ONTs são feitos em *broadcast*, toda mensagem transmitida na rede poderia ser visualizada por todos os usuários nela contidos (KEISER, 2006).

Objetivando evitar o acesso indevido às informações transmitidas, o padrão GPON descreve o uso de um mecanismo de segurança da informação para assegurar que os acessos aos dados serão permitidos apenas para os usuários aos quais estes sejam destinados. O mecanismo de encriptação de dados ponto-a-ponto chamado padrão de encriptação avançado – *Advanced Encryption Standard* (AES) – é utilizado para assegurar proteção ao *payload* do campo de dados em um quadro GPON (KEISER, 2006).

O algoritmo AES cifra e decifra blocos de dados de 128-bits a partir do formato original chamado de texto plano para uma forma ininteligível chamada texto cifrado. Suas chaves de encriptação variam em comprimentos de 128, 192 e 256 bits, o que torna a criptografia muito difícil de ser comprometida. Esta chave pode ser modificada periodicamente (por exemplo, uma vez a cada hora) sem comprometer a distribuição do fluxo de informação (KEISER, 2006).

5.2 A CAMADA DEPENDENTE DO MEIO FÍSICO GPON

A recomendação ITU-T G.984.2 descreve requisitos e especificações para a camada dependente do meio físico – *physical media-dependent layer* (PMD) – o que corresponde a camada física no modelo de referência OSI. Tal especificação inclui

um padrão de conversão elétrica para óptica e de conversão óptica para elétrica no meio físico, recuperação de *clock* e mecanismo de detecção e correção de erros.

5.2.1 Performance óptica

Uma das principais preocupações contidas na recomendação G.984.2 é especificar a forma de transmissão e a performance óptica para distâncias de 10 e 20 km. Para calcular a potência utilizada, GPON utiliza as mesmas classes de especificações ópticas existentes nos sistemas BPONs, assegurando o legado desta tecnologia (KEISER, 2006).

São considerados três tipos de potências ópticas segundo ITU-T 984.2:

- 1) Classe óptica A: 5 a 20 dB;
- 2) Classe óptica B: 10 a 25 dB; e
- 3) Classe óptica C: 15 a 30 dB.

Tabela 5.2 – Características chaves na camada dependente do meio físico GPON
[18]

Parâmetro	Especificações GPM (<i>GPON Physical Medium Dependent</i>)
Taxa de acesso a dados	Downstream: 1.244 e 2.488 Gbps; Upstream: 155 Mbps, 622 Mbps, 1.244 Mbps, 2.488 Mbps
Classes ópticas	Classes A, B e C; mesmos requisitos utilizados em sistemas BPON
Sobrecarga em rajada	Sobrecarga em rajada é especificada em cada velocidade de transmissão
Nível de potência	A saída óptica do ONT pode operar em três modos de níveis de potência para aliviar o detector de fototolerância no OLT
Confiabilidade de dados	Forward Error Correction (FEC) pode ser utilizado como opção

Incluídos nestas faixas de intervalos de atenuação estão perdas resultantes das próprias fibras ópticas, emendas, conectores e divisores ópticos. O projeto do enlace deve levar em consideração possíveis ocorrências de outros tipos de degradação de sinal nos enlaces, como emendas adicionais resultantes de reparos de cabos ópticos, fatores ambientais que afetam a performance do cabo e inesperadas degradações nos componentes passivos (KEISER, 2006).

5.2.2 Temporização e controle de potência óptica

Um importante fator contido na especificação ITU-T G.984.2 concerne aos parâmetros de modo de temporização das rajadas – *burst-mode timing*. Ainda que uma GPON seja uma rede sincronizada, na qual o OLT informa aos ONTs quando eles podem transmitir, este processo contém algumas incertezas de sincronismo inerentes a qualquer meio de transmissão. Embora este também seja o caso dos esquemas BPON e EPON, a maior taxa de transmissão de dados (consequentemente, as menores larguras de pulso em uma rajada de pacotes) faz deste um fator menos crítico do que em uma GPON (KEISER, 2006).

Uma vez que o processo de *ranging* possui uma precisão limitada, um tempo de proteção – *guard time* – é alocado entre rajadas consecutivas vindas dos ONTs para evitar colisões de pacotes independentes (KEISER, 2006). Isto é ilustrado na figura 5.4.

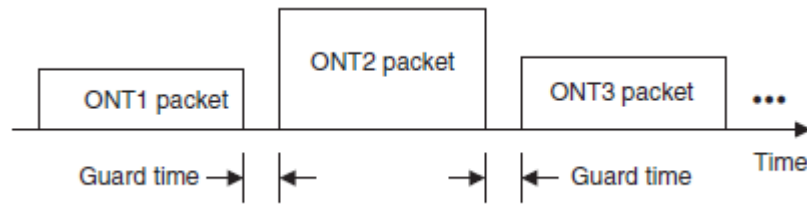


Figura 5.4 – Tempo de proteção – *guard time* – entre rajadas consecutivas de pacotes [18]

O intervalo *guard time* deve levar em consideração fatores como: o atraso na ativação do *laser* da próxima rajada de informações a ser transmitida, o *delay* de desativação do laser e o resíduo do processamento da rajada atual devido ao tempo de descarga nos componentes do OLT receptor além da granularidade da equalização do tempo de atraso entre os vários ONTs da GPON (KEISER, 2006).

O *guard time* dura cerca de 25.6 ns, o que significa que o número de bits alocados para o campo torne-se maior à medida que a taxa de dados cresce. Por exemplo, um *guard time* de 25.6 ns consome 16 bits a 166 Mbps; 32 bits a 1244 Mbps e 64 bits a 2.488 Gbps (KEISER, 2006).

Outra questão inerente às GPONs é o controle de potência óptica. Supondo um ONT localizado muito próximo ao OLT controlador da rede. Neste caso, a avalanche recebida na célula fotoelétrica do OLT pode conter uma potência óptica relativamente alta oriunda deste ONT relativamente próximo. Para aliviar o detector do OLT desta possível experiência de condição de sobrecarga, a recomendação ITU-T G.984.2 prevê o controle de potência óptica – *optical power control* – nos transmissores dos ONTs através da implementação de três modos distintos de potência de transmissão. No primeiro modo, o transmissor do ONT opera em seu nível normal de saída de potência. Já os modos 2 e 3, a saída óptica do ONT é de 3 e 6 dB mais baixa do que o primeiro modo de operação (KEISER, 2006).

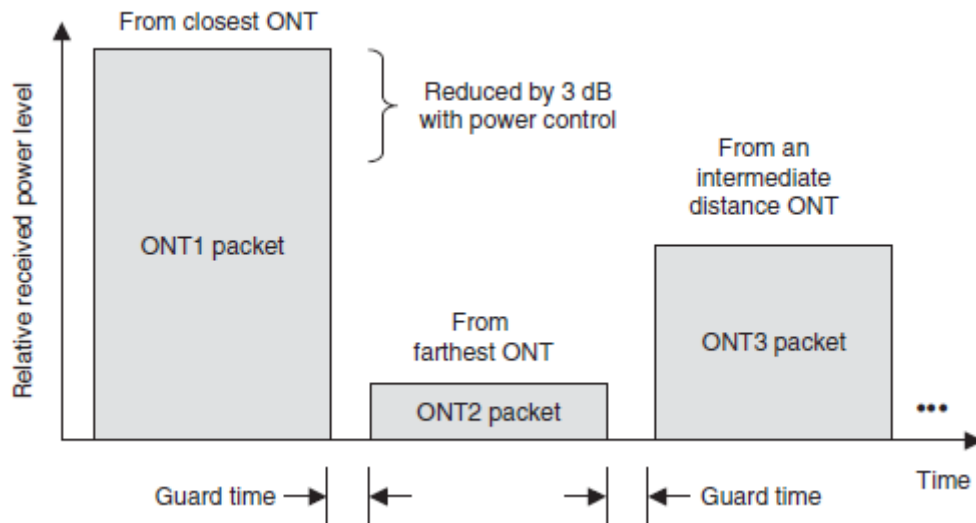


Figura 5.5 – Sucessivos pacotes chegando ao OLT, oriundos de diferentes ONTs contendo ampla variação em seus níveis de potência óptica [18]

Desta maneira, se o fotodetector do OLT receber um nível de potência demasiadamente alto, ele pode comandar ao ONT emissor a redução de seu nível de potência óptica. Um exemplo desta operação é ilustrado na figura 5.5.

5.2.3 A correção de erros FEC

Como uma opção destinada a manter baixo custo nos transceptores ópticos e ainda possibilitar alto nível de integridade de dados, a recomendação ITU-T G.984.2 especifica também o uso da técnica de correção antecipada de erros – *forward error correction* (FEC). A aplicação de FEC em uma GPON é desejável uma vez que as altas taxas de bits reduzem a provisão de potência óptica em duas formas (KEISER, 2006):

- 1) Altas taxas de bits reduzem a sensibilidade no receptor uma vez que a alta largura de banda do receptor introduz mais ruído ao meio de transmissão; e
- 2) A outra razão deve-se ao efeito da dispersão cromática ser maior em altas taxas de transmissão de bits, o que resulta em uma grande perda de potência ao longo do caminho óptico.

Neste caso, o uso de FEC é torna-se muito útil, uma vez que ele adiciona somente de 3 a 6 dB da alocação de potência óptica (KEISER, 2006).

FEC consiste de uma técnica matemática de processamento de sinal que codifica os dados de modo que os erros possam ser detectados e corrigidos. Em técnicas FEC, informações redundantes são transmitidas junto com a informação original. Se algum dado original for perdido ou recebido com erro, esta informação redundante é utilizada para reconstruir o dado transmitido. Tipicamente, a quantidade de informação redundante é pequena, assim o esquema FEC não usa muita largura de banda adicional e desta forma mantém-se como operação eficiente como correção antecipada de erros (KEISER, 2006).

5.3 CAMADA DE CONVERGÊNCIA DE TRANSMISSÃO GPON

Esta seção aborda a camada de convergência de transmissão, descrita na recomendação ITU-T G.984.3, o que equivale a camada 2 (a camada de transmissão de dados) no modelo de referência OSI.

ITU-T G.984.3 especifica: o formato do quadro GPON, o protocolo de controle de acesso ao meio, o esquema de *ranging process*, o processo de operação e manutenção e o método de encriptação da informação transmitida no meio. A seguir,

apresentam-se as características e o formato do quadro para transmissão no sentido *downstream* de uma GPON.

5.3.1 Formado do quadro de *downstream* GPON

Com objetivo de acomodar todos os tipos de serviços, isto é, ATM, TDM e Ethernet eficientemente, um método de encapsulamento GPON – *GPON encapsulation method* (GEM) – é utilizado. Este método é baseado em uma, levemente modificada, versão da recomendação ITU-T G.7041 *Generic Framing Procedure*, que fornece especificações para envio de pacotes IP sobre redes *Synchronous Optical Networking* (SONET) e *Synchronous Digital Hierarchy* (SDH) (KEISER, 2006). O formato do quadro fixado em um comprimento de 125 μ s é apresentado na figura 5.6. Este *frame* consiste em um bloco de controle físico – *physical control block* (PCB) – e um *payload* composto por um segmento ATM puro e um segmento GEM. A seção PCB contém o *overhead* de informação da camada física usada no controle e gerenciamento da rede.

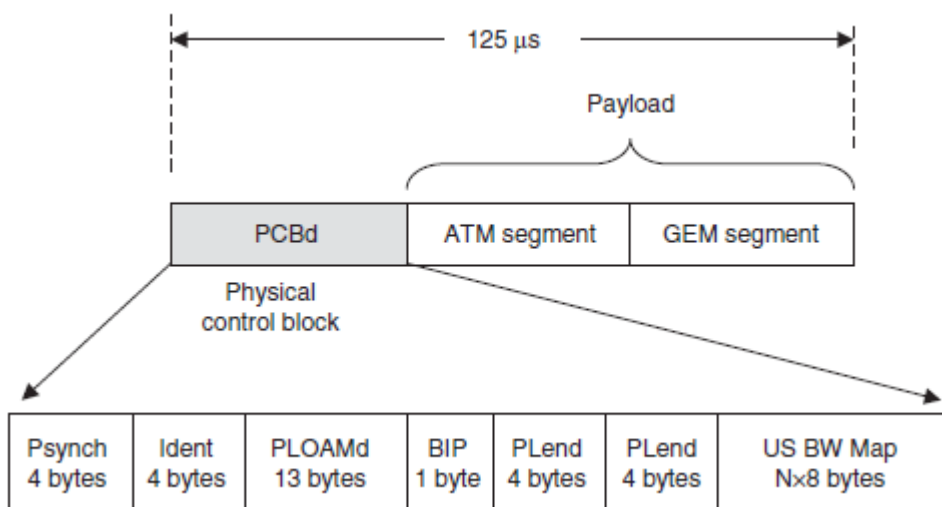


Figura 5.6 – Três segmentos do formato do quadro de uma GPON [18]

No sentido *downstream* o PCBd (*physical control block for frames going downstream*) contém as seguintes informações:

- 1) Um campo de sincronização de quadro (Psync) contendo 4 bytes;
- 2) Um segmento (Ident) contendo 4 bytes com um contador de 8-kHz, um bit de estado de correção antecipada de erros – *forward error correction* (FEC) – para fluxo *downstream*, um bit de transição de chave de encriptação e 8 bits de estado reservados para uso futuro;
- 3) Uma mensagem *downstream* destinada a operação, administração e gerenciamento da camada física – *downstream physical layer OAM message* (PLOAMd), que manipula funções como alarmes relacionados a operação, administração e gerenciamento ou alertas de estouro de *threshold*;
- 4) Um campo de paridade intercalada – *bit interleaved parity* (BIP) – contendo 1 byte, usado para estimar a taxa de erro de bit;
- 5) Um indicador *downstream* contendo o comprimento do campo *payload* – *downstream payload length indicator* (PLend) – com 4 bytes de comprimento, que fornece a extensão do mapa de largura de banda *upstream* – *upstream bandwidth map* (US BW) – e o tamanho do segmento ATM. Este campo PLend é enviado duas vezes como forma de se obter redundância adicional e robustez contra erros;
- 6) Um mapa de largura de banda *upstream* (US BW) contendo $N \times 8$ bytes, o qual aloca N *time-slots* de transmissão para as ONTs.

O mapa US BW contém N entradas associadas a N identificadores de alocação de intervalos de tempos – *time-slots* – para os ONTs da rede GPON, como é possível visualizar na figura 5.7 abaixo.

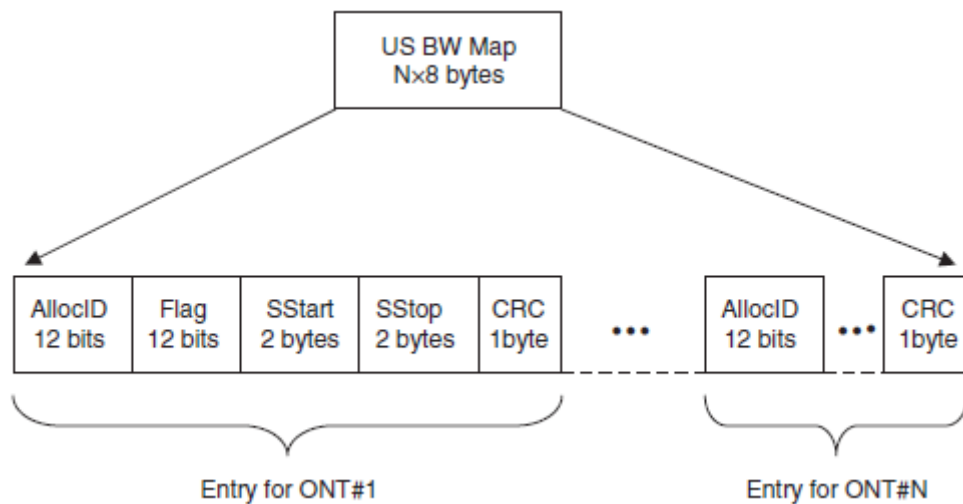


Figura 5.7 – Estrutura do campo do mapa US BW [18]

Ainda, conforme exibido na figura 5.7, cada entrada em um mapa US BW ou estrutura de acesso consiste de:

- 1) Um identificador de alocação – *allocation identifier* (AllocID) – contendo 12 bits, que é atribuído a um ONT;
- 2) 12 bits de *flag* que permitem a transmissão *upstream* dos blocos de *overhead* da camada física para um designado ONT;
- 3) Um ponto de iniciação – *start pointer* (Sstart) – contendo 2 bytes que dá a informação de quando a janela de transmissão *upstream* se inicia (tempo medido em bytes). O início do quadro de convergência de transmissão GPON – GPON *Transmission Convergence* (GTC) – sentido *upstream* é designado no tempo zero;

- 4) Um ponto de parada – *stop pointer* (SStop) – contendo 2 bytes que indicam quando a janela de transmissão *upstream* termina; e
- 5) Um CRC contendo 1 único byte que fornece detecção de erro de 2 bits e correção de erro de 1 bit no campo de alocação de largura de banda.

A figura 5.8 dá ao leitor um exemplo de alocação de *time-slots* para três ONTs. Nela existem três entradas no campo do mapa US BW. O AllocID dos ONTs são 1, 2, e 3 para ONT1, ONT2 e ONT3 respectivamente.

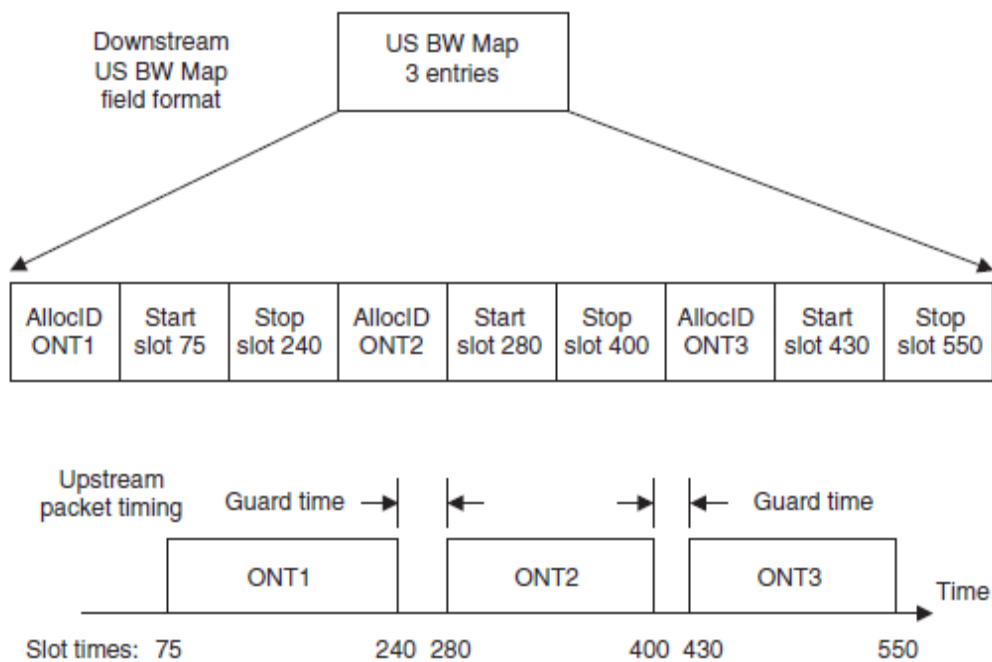


Figura 5.8 – Campo mapa US BW *downstream* e repostas *upstream* que se seguem

[18]

O centro da figura 5.8 apresenta o início e o fim dos *time-slots* listados no campo do mapa US BW de *downstream* durante os quais várias ONTs tem permissão para transmitir.

A parte inferior da figura 5.8 apresenta o formato geral do fluxo de informações *upstream* para os três ONTs. Note que um adequado *guard time* é inserido entre os pacotes provenientes dos diferentes ONTs.

5.3.2 Formado do quadro de *upstream* GPON

O tráfego *upstream* em uma GPON consiste em sucessivas transmissões de um ou mais ONTs. Conforme exibido na figura 5.8, a sequência particular de quadros é baseada em alocações de *time-slots* a serem transmitidos, gerenciados pelo OLT controlador da rede.

Para assegurar a adequada recepção de quadros em forma de rajada, uma certa quantidade de *overhead* para estas rajadas é necessária no início de uma rajada *upstream* de um ONT. Conforme ilustrado na figura 5.9, o formato de um *frame upstream* consiste em até quatro tipos de campos para *overhead* de redes ópticas passivas e um campo de comprimento de carga de dados do usuário que pode variar conforme a quantidade de dados a serem enviados na rajada de transmissão.

O campo cabeçalho de um *frame upstream* em uma GPON contém (KEISER, 2006):

- 1) Um *overhead* da camada física – *physical layer overhead upstream* – (PLOu) no início de uma rajada *upstream* que contém um preâmbulo, no qual assegura-se uma apropriada operação da camada física, por exemplo, alinhamento de bits e bytes;

- 2) Um campo de operação, administração e gerenciamento da camada física – *upstream physical layer operation, administration and management field* – (PLOAMu) que é responsável por funções de gerenciamento tais quais *ranging*, ativação de um ONT e notificações de alarme. O campo PLOAMu composto por 13 bytes contém mensagem PLOAM conforme definida na recomendação ITU-T G.983.1 e é protegido contra erros de bits utilizando *cyclic redundancy check* (CRC);
- 3) Um campo sequenciador de nivelamento de potência – *upstream power leveling sequence* (PLSu) – que contém informação sobre como pode ser visto pelo OLT o nível de potência do *laser* dos ONTs. Dada esta informação, o OLT usa o PLSu para ajustar os níveis de potência do ONT para reduzir a taxa óptica dinâmica recebida no OLT;
- 4) Um campo de relatório de largura de banda dinâmico – *dynamic bandwidth report field* (DBRu) – que informa ao OLT o comprimento da fila de cada AllocID em um ONT. Este campo permite o OLT habilitar a operação adequada do processo de alocação de largura de banda dinâmica (DBA). O DBRu é protegido contra erros de bits utilizando CRC.

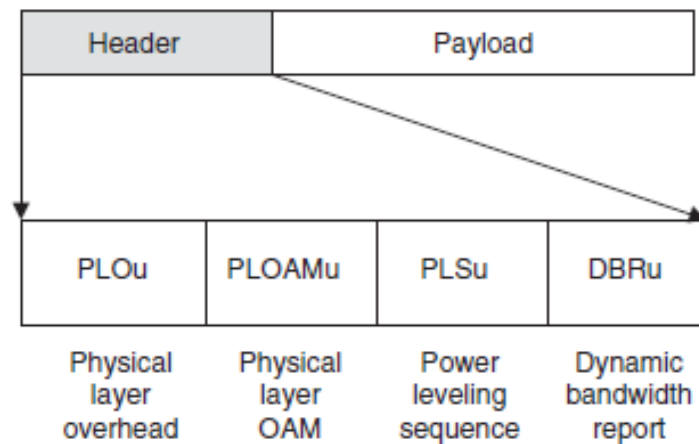


Figura 5.9 – Formato e estrutura do cabeçalho de um *frame upstream* [18]

5.3.3 Segmentação de pacotes GPON

O método de encapsulamento GPON funciona de forma similar ao método ATM, porém utiliza-se um comprimento variável de quadros diferentemente das células de comprimento fixo do protocolo de transporte ATM. Assim, GEM fornece um meio genérico para enviar diferentes serviços sobre uma GPON (KEISER, 2006).

A carga de dados encapsulada – *payload* – pode conter até 1500 bytes de comprimento. Se um ONT possui um pacote a ser enviado que é maior do que 1500 bytes, o ONT deve “quebra-lo” em fragmentos menores que se encaixem no comprimento permitido para carga. O equipamento destinatário fica responsável pela remontagem dos fragmentos no formato original do pacote (KEISER, 2006). A figura 5.10 apresenta a estrutura do segmento GEM, que consiste de quatro campos no cabeçalho e um *payload* contendo *L bytes* de comprimento.

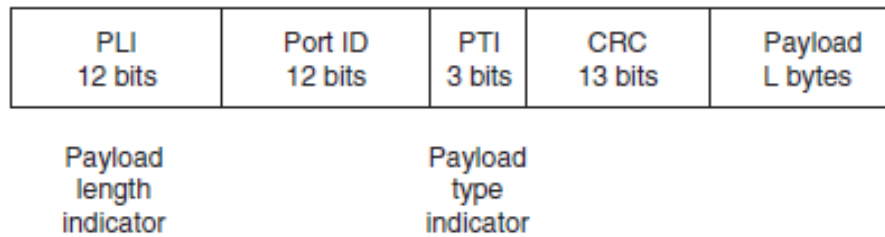


Figura 5.10 – Os quatro campos do cabeçalho e o *payload* de um segmento GEM

[18]

Os campos do cabeçalho são os seguintes (KEISER, 2006):

- 1) Um indicador de comprimento do campo *payload* – *payload length indicator* (PLI) – composto por 12 bits que contém o comprimento em bytes do GEM – d encapsulated payload;
- 2) Número de identificação da porta – *port identification number* (Port ID) – composto por 12 bits que informa a que fluxo de serviço o fragmento pertence;
- 3) Um indicador do tipo de *payload* – *payload type indicator* (PTI) – composto por 3 bits, que especifica se o fragmento é o final do datagrama do usuário, se o fluxo de tráfego está congestionado ou se o *payload* do método de encapsulamento GPON (GEM) contém informações operacionais, de administração ou de manutenção (OAM);
- 4) Um *cyclic redundancy check* (CRC) composto por 13 bits para efetuar controle de erro de cabeçalho que habilita a correção de dois bits errados e detecção de três erros de bits no cabeçalho.

Um ponto chave do esquema GEM aqui apresentado é que ele fornece um meio eficiente de encapsulamento e fragmentação de pacotes contendo informação

do usuário. A razão do uso de encapsulamento em uma GPON é fornecer adequado gerenciamento para múltiplos fluxos de serviços provenientes de diferentes ONTs que compartilham um mesmo enlace de transmissão óptica. O propósito da fragmentação é enviar pacotes de usuários eficientemente, independentemente de seus tamanhos, e recuperar o formato original do pacote proveniente das janelas de transmissão da camada física de forma confiável em uma GPON (KEISER, 2006).

6 10G-EPON E XG-PON

De acordo com o que foi abordado neste estudo, pode-se observar que vários sistemas de redes ópticas passivas (BPON, GPON, EPON) estão atualmente em operação comercial. E ainda, conforme abordado no capítulo 1, existe uma crescente demanda por taxas de bits cada vez maiores na utilização da Internet como meio de telecomunicação que converge os mais diferentes tipos serviços. Por conta disso, os sistemas PON seguem uma contínua evolução e espera-se que experimentemos ainda maiores no futuro. Ao redor do mundo, operadoras estão mobilizadas em alavancar a próxima geração de redes – *next-generation (NG) networks* – que não só envolvem as já mencionadas tecnologias BPON, GPON, EPON, mas também a geração 10G-EPON/XG-PON, definidas em algumas bibliografias como NG-PON1 (KITAYAMA, 2014).

Diante deste cenário, a recomendação ITU-T G.987.1 surge para abordar os requisitos gerais dos sistemas de redes ópticas passivas com capacidade de 10 gigabits - *10 gigabits-capable passive optical network system (XG-PON)* – de maneira a nortear as especificações da camada física e da camada de convergência de transmissão (ITU-T G.987.1, 2010). Tais requisitos incluem exemplos de serviços, definição das interfaces de redes – *network interfaces (UNIs)* – e interfaces de nós dos serviços – *service node interfaces (SNIs)*. Assim como as principais configurações de implantação que são necessárias para as operadoras de serviços (ITU-T G.987.1, 2010).

A recomendação ITU-T G.987.1 também inclui sistemas e requisitos operacionais para padronizar as necessidades de suporte às várias aplicações comerciais e residenciais (ITU-T G.987.1, 2010).

XG-PON representa um sistema PON com taxa de transmissão nominal de, pelo menos, 10 Gbps no sentido *downstream* (onde X, como número romano, indica o valor 10). As taxas padronizadas para o sentido *upstream* são de: 2.5 e 10 Gbps (KITAYAMA, 2014).

6.1 A PRÓXIMA GERAÇÃO DE REDES – NG-PON

NG-PON1 é a nomenclatura adotada para novos sistemas de tecnologia de redes com caráter essencialmente evolutivo, o que significa possibilidade de desenvolvimento em áreas onde já existam instalações imobiliárias prontas, prevendo coexistência com as GPON/EPON na mesma rede de distribuição óptica – *optical distribution network (ODN)*. Tal coexistência com sistemas legados possibilita atualização contínua para assinantes individuais em um NG-PON sobre uma ODN operando sem que seja necessária interrupção dos serviços ativos de outros assinantes que não desejem realizar tal migração. Neste contexto, é relevante citar a tecnologia NG-PON2, que possui um objetivo de crescimento revolucionário (KITAYAMA, 2014).

NG-PON2 é prevista como uma tecnologia com objetivo de implementação em áreas onde não existam empreendimentos imobiliários já instalados, comumente chamadas de “*green fields*” *deployment*. Entretanto, NG-PON2 não se restringe somente a requisitos de coexistência com demais tecnologias. Ela deve ser, preferencialmente, utilizada em novos empreendimentos – *green fields deployments* – uma vez que a implantação de fibras ópticas deve tornar-se mais barata do que a de fios de cobre no futuro (KITAYAMA, 2014).

Existem muitos candidatos técnicos para o desenvolvimento das NG-PON2, tais quais, *100G/400G TDM*, *dense WDM (DWDM)*, *OCDMA* e *OFDMA*, porém, é relativamente cedo para escolher um destes com sendo o mais apropriado, tendo em vista a necessidade de extensivas pesquisas e desenvolvimento de componentes nessa área (KITAYAMA, 2014). A figura 6.1 apresenta um roteiro da crescente evolução das PONs em direção às NG-PONs ao longo dos anos. Contudo, este capítulo manterá seu foco nas características relativas às 10G-EPON e XG-PON.

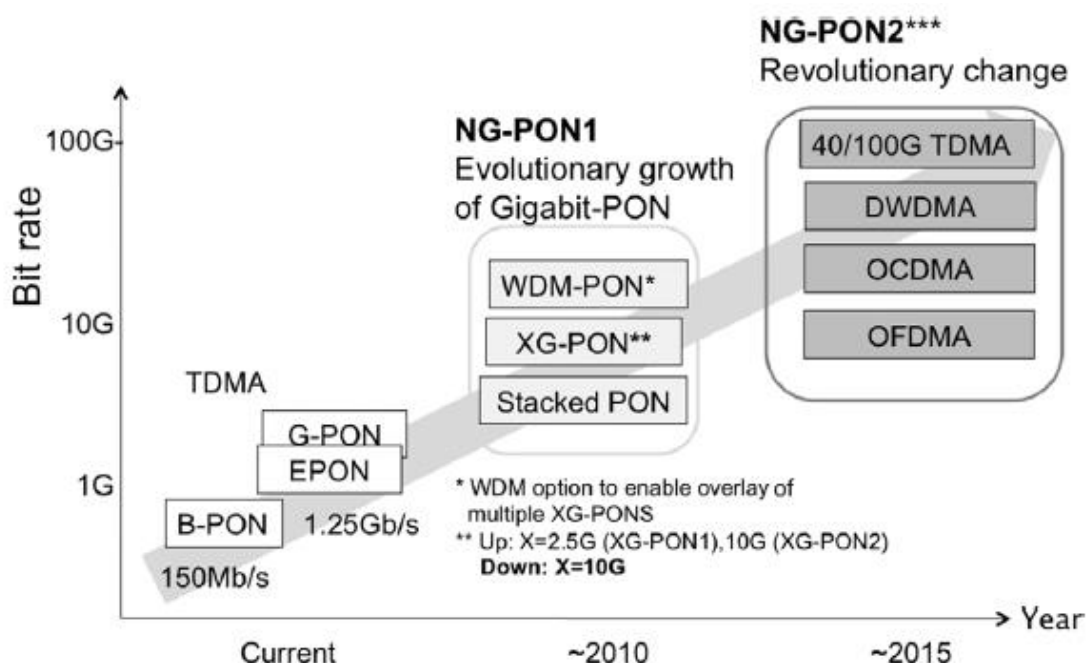


Figura 6.1 – Caminho evolutivo das tecnologias PON em direção à NG-PON [20]

No modelo NG-PON1 visto na figura 6.1, a meta para taxa de bit é da faixa dos 10 Gbps.

6.2 ASPECTOS SOBRE MIGRAÇÃO PARA 10G-EPON E XG-EPON

O padrão IEEE 802.3av para 10G-EPON assegura que o vasto investimento na GPON é significativo e que assinantes que não queiram taxas de bit maiores do que as de 1 Gbps existentes poderão continuar recebendo o serviço gigabit (KITAYAMA, 2014).

IEEE 802.3av surge como sucessor direto do padrão EPON IEEE 802.3ah e a série de recomendações GPON ITU-T G.984 no que se refere ao avanço das tecnologias de rede de acesso.

Para NG-PON1 existem dois cenários de migração a serem considerados: migração da EPON para 10G-EPON e migração da GPON para 10G-EPON (KITAYAMA, 2014).

As principais diferenças das especificações 10G-EPON e EPON são resumidas na tabela 6.1 que também correlacionada as características das BPONs e G-PONs e EPONs.

Tabela 6.1 – Características principais dos padrões PON [20]

	BPON	G-PON	EPON	10G-EPON
	(Série ITU-T.G.983)	(Série ITU-T.G.984)	(IEEE 802.3ah)	(Série ITU-T.G.987 e IEEE 802.av)
Taxa para transmissão de dados	Downlink 2.49 Gbps Uplink 1.24 Gbps	2.49 Gbps 1.24 Gbps	1.25 Gbps 1.25 Gbps	10.3 Gbps 10.3 Gbps
Sinal de codificação (sobrecarga de codificação)		embaralhamento NRZ (10%)	8B/10B (20%)	8B/10B (20%)
Forward error correction (FEC)		RS opcional (255,239)	RS Obrigatório (255,223)	RS Obrigatório (255,223)
Comprimento de onda	Downlink 1480 - 1580 nm (DFB) Uplink 1260 - 1360 nm (DFB)	1480 - 1580 nm (DFB) 1260 - 1360 nm (DFB) ou 1290 - 1330 nm (versão reduzida)	1480 - 1580 nm (DFB) 1260 - 1360 nm (DFB)	1480 - 1580 nm (EML*) 1260 - 1360 nm (DFB)
Distância máxima	20 km	20 km	20 km	20 km
Razão de divisão	1:32	no máximo 1:64	1:16; 1:64 é possível	1:16; 1:64 é possível
Laser on-off	154 ns	25.6 ns	512 ns	512 ns
Preâmbulo para rajada		35.2 ns	Controle automático de aumento	Controle automático de aumento
Tamanho do quadro	Células ATM com 53 bytes	Fragmento do quadro	Recuperação de clock e dados	Recuperação de clock e dados
Sobrecarga para alocação de largura de banda		1518 bytes (máximo) 12 bytes	Quadros Ethernet 64 a 1518 bytes mensagens GATE/REPORT com 64 bytes	Quadros Ethernet 64 a 1518 bytes mensagens GATE/REPORT com 64 bytes

*EML modulador de eletro absorção

Na tabela 6.1, é possível verificar que o padrão 10G-EPON suporta taxas simétricas de 10 Gbps tanto no sentido *downstream* quanto no sentido *upstream* de transmissão de dados, além de possuir taxas assimétricas de 10 Gbps *downstream* e 1 Gbps *upstream*, enquanto que as EPONs “restringem-se” a oferecer taxas de transmissão de dados simétricas de 1 Gbps (KITAYAMA, 2014).

No outro lado da corrente de desenvolvimento das padronizações PON, o sistema XG-PON foi definido pela recomendação ITU-T G.987.1 com objetivo de possibilitar uma suave migração das existentes GPONs para as 10G-EPONs, (KITAYAMA, 2014). A alocação de comprimento de onda para XG-PON é a mesma encontrada nas especificações dos sistemas 10G-EPON, conforme observa-se na figura 6.1.

Em um cenário de migração de EPON para 10G-EPON, existem três combinações de diferentes taxas de bit a serem consideradas. Estas devem ser suportadas simultaneamente utilizando diferentes atribuições de comprimentos de onda WDM e/ou TDMA (KITAYAMA, 2014), conforme apresenta a figura 6.2. No sentido *downstream*, 1 Gbps e 10 Gbps são transmitidos em diferentes bandas de comprimentos de onda de 1480-nm a 1500-nm e de 1575-nm a 1580-nm, respectivamente. No sentido *upstream*, TDMA segue sendo adotado com tecnologia de acesso ao meio, uma vez que a mesma faixa de comprimento de onda de 1260-nm a 1360-nm é utilizada para sinais de 1 Gbps e 10 Gbps (KITAYAMA, 2014).

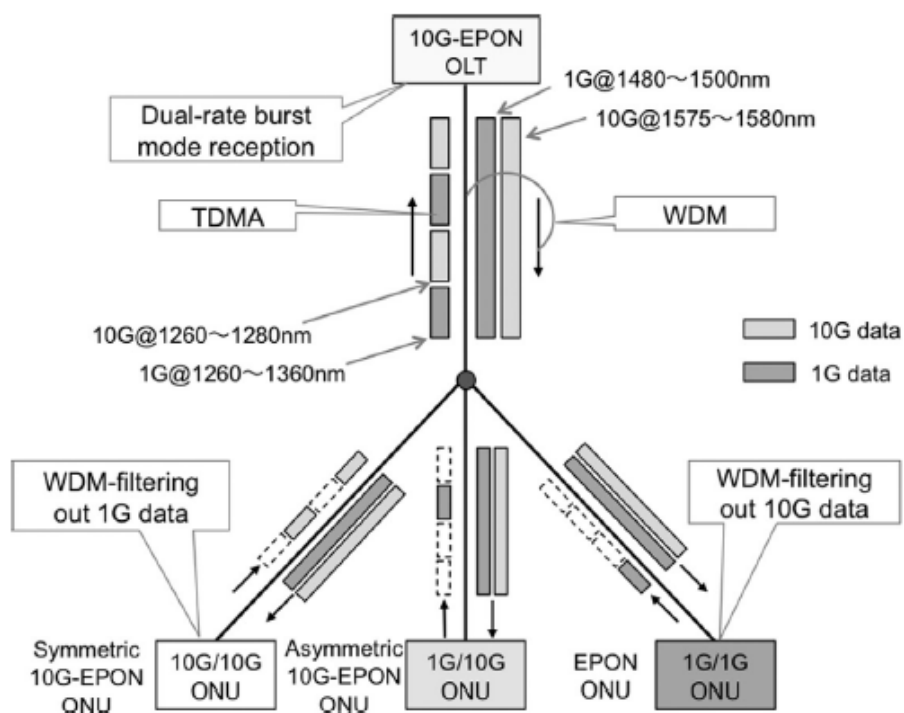


Figura 6.2 – Tecnologias requeridas para coexistência de 10G-EPON e EPON [20]

Em outro cenário de migração temos a transição das GPONs para as 10G-EPONs mediante normatização das X-GPONs. Isto é representado na figura 6.3.

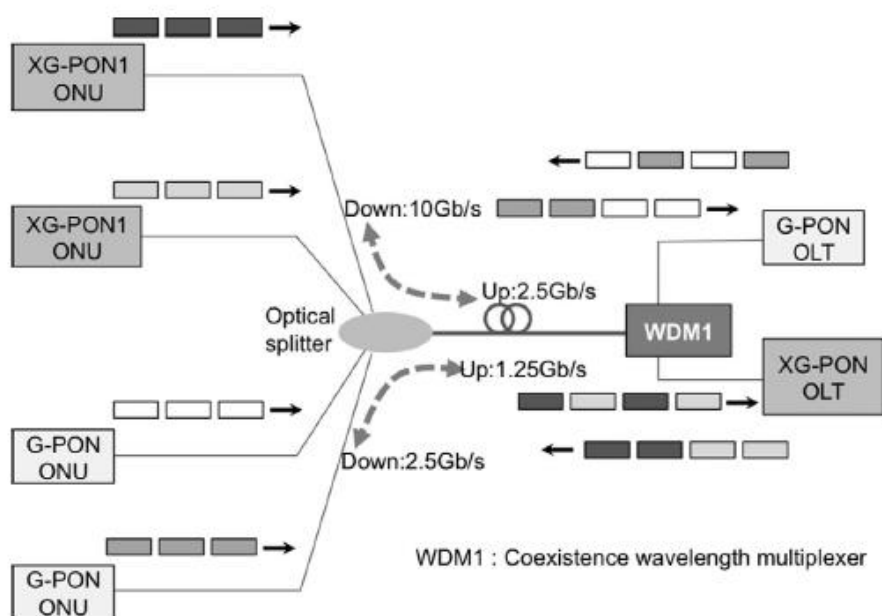


Figura 6.3 – Cenário de migração de tecnologia GPON para XG-PON1 [20]

No cenário apresentado na figura 6.3, a taxa nominal *upstream* é de 2.5 Gbps para XG-PON1. O OLT e as diversas ONUs da GPON devem ser implementados antes do desenvolvimento do OLT e das ONUs da XG-PON1. Um filtro WDM (WDM1) é instalado para combinar e separar sinais das GPON e XG-PON1 para dentro e para fora da ODN. O WDM1 deve ser implementado na mesma oportunidade em que a XG-PON1 é adicionada à rede. Desta maneira evita-se a interrupção dos serviços na GPON em atividade (KITAYAMA, 2014).

A recomendação ITU-T G.987.1, apresenta uma configuração de referência simples e em alto nível de uma X-GPON que é descrita na figura 6.4, a qual se mostra muito similar às configurações propostas nas séries de recomendações ITU-T G.983 e ITU-T G.984.

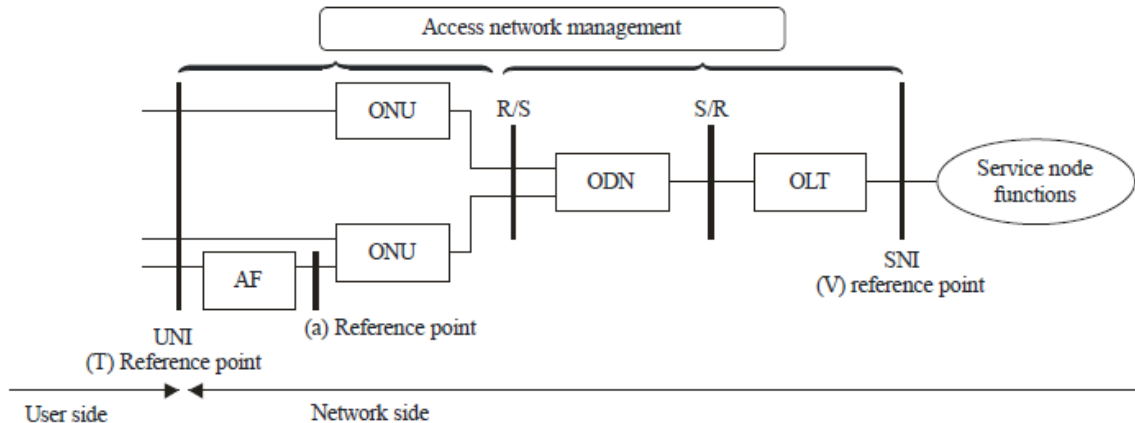


Figura 6.4 – Modelo de referência em alto nível de uma X-GPON [16]

7 SOLUÇÕES FTTH EM REDES DE ACESSO

FTTH vem sendo considerada como uma tecnologia fixa de acesso à rede a prova do futuro que oferece uma capacidade de transmissão de dados muito maior do que as tecnologias de rede à cabo ou baseadas em transmissão de dados mediante uso de fios de cobre existentes (SCHNEIR; XIONG, 2014).

Porém, antes de abordarmos a arquitetura *fiber to the home* propriamente dita, assunto principal deste capítulo, mostra-se relevante apresentar o contexto global ao qual FTTH está inserido.

7.1 FIBER TO THE X (FTTX)

FTTX, onde a letra *X* representa uma série de serviços de assinantes utilizando a tecnologia baseada em fibra óptica, é creditada como uma solução definitivamente capaz de reduzir os gargalos existentes nas atuais redes de acesso (HAVIC; MIKAC, 2014).

Nas próximas seções serão definidas as distintas formas de implementação da arquitetura FTTX: *Fiber To The Curb/Cabinet* (FTTCurb/Cab), *Fiber To The Building* (FTTB), *Fiber To The Home* (FTTH), *Fiber To The Office* (FTTO) e *Fiber To The Cells Wireless* (FTTCell).

A rede de distribuição óptica – *optical distribution network* (ODN) – é comum a todas estas arquiteturas, conforme ilustra a figura 6.1 extraída da recomendação ITU-T 987.1.

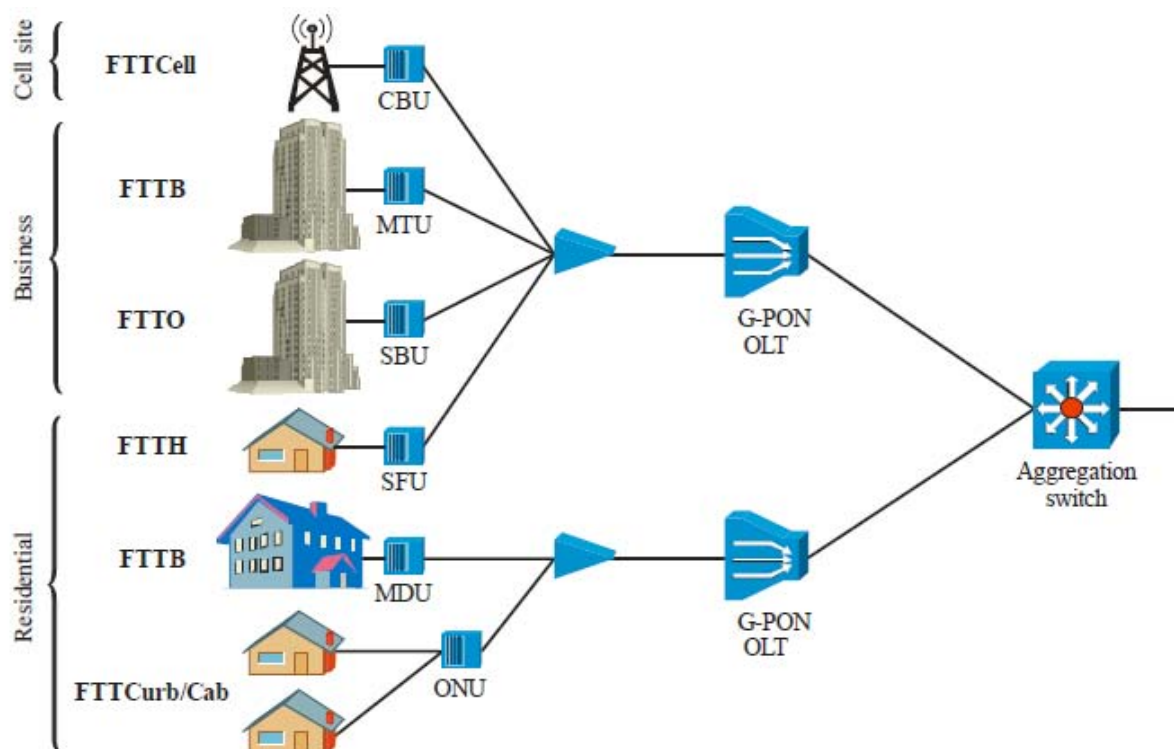


Figura 7.1 – Resumo das arquiteturas FTTX [16]

7.1.1 *Fiber to the Building (FTTB)*

Fiber to the building network (FTTB) é dividida em dois cenários distintos, um para as denominadas múltiplas unidades habitacionais – *multi-dwelling units* (MDUs) – e outro para empresas ou ambientes mistos – *multi-tenant units* (MTUs) (ITU-T 987.1, 2010).

Segundo a recomendação ITU-T 987.1, cada cenário deve apresentar as seguintes categorias de serviços.

7.1.1.1 *Fiber to the the Building para Multiple Dwelling Units (FTTB/MDU)*

Fiber to the building (FTTB) é uma arquitetura de rede de transmissão óptica que tem origem em uma central da operadora de telecomunicações chegando até a entrada do edifício (CRUS, KONOPACKI; 2014).

A partir deste ponto, a distribuição interna do sinal é realizada através de uma rede Ethernet, tendo como meio de transmissão cabos coaxiais ou fios de par de cobre do cabeamento estruturado (CRUS, KONOPACKI; 2014). Não eliminando ainda, por completo, o gargalo existente nas redes de acesso. Esta deve suportar, segundo recomendações ITU-T 987.1:

Serviços de banda larga assimétricos (IPTV, serviços de *broadcast* digitais, vídeo sob demanda – *video on demand* (VoD), *download* de arquivos).

Serviços de banda larga simétricos (conteúdos *broadcast*, *e-mail*, transferência de arquivos, ensino a distância, telemedicina, jogos *online*).

Serviços de telefonia legados – *plain old telephone services* (POTS) – conexão básica de telefonia cabeada. A rede de acesso deve ser capaz de prover, de maneira flexível, estreitas faixas de serviços de telefonia utilizando emulação (replicação completa de serviço legado) ou simulação (provendo um serviço que seja similar ao serviço legado).

7.1.1.2 *Fiber to the the Building para Multiple Tenant Units (FTTB/MTU)*

Deve fornecer serviços de banda larga simétricos (*softwares* agrupados, conteúdos *broadcast*, *e-mail*, transferência de arquivos)

Serviços de telefonia legados - *plain old telephone services* (POTS) – conexão básica de telefonia cabeada. A rede de acesso deve ser capaz de prover, de maneira flexível, estreitas faixas de serviços de telefonia utilizando emulação (replicação completa de serviço legado) ou simulação (provendo um serviço que seja similar ao serviço legado).

A rede de acesso de ser capaz de prover, de maneira flexível, serviços de linhas privadas em várias taxas de transmissão distintas.

7.1.2 ***Fiber to the Curb (FTTC)***

Na solução *fiber to the curb* (FTTC), a arquitetura de rede de transmissão óptica tem origem em uma central da operadora de telecomunicações chegando até um armário de distribuição que geralmente é responsável pelo atendimento de uma região ampla. A partir do armário até o cliente, a transmissão, em sua grande maioria, ocorre através de fios de par de cobre (CRUS, KONOPACKI; 2014).

Dentro deste cenário, as seguintes categorias de serviço devem ser consideradas, segundo recomendações ITU-T 987.1:

Serviços de banda larga assimétricos (IPTV, serviços de *broadcast* digitais, vídeo sob demanda – *video on demand* (VoD), *download* de arquivos, jogos *online*)

Serviços de banda larga simétricos (conteúdos *broadcast*, *e-mail*, transferência de arquivos, ensino a distância, telemedicina,)

Serviços de telefonia legados – *plain old telephone services* (POTS) – conexão básica de telefonia cabeada. A rede de acesso deve ser capaz de prover, de maneira flexível, estreitas faixas de serviços de telefonia utilizando emulação (replicação

completa de serviço legado) ou simulação (provendo um serviço que seja similar ao serviço legado).

Deve se considerar *xDSL backhaul*, porção da rede hierárquica de telecomunicações responsável por fazer a ligação entre o núcleo da rede – *backbone* – e as subredes periféricas do sistema legado xDSL.

Desta forma não se elimina ainda o gargalo existente nas redes de acesso.

7.1.3 ***Fiber to the Office (FTTO)***

Fiber to the office (FTTO) destina-se a unidades de rede ópticas empresariais – *optical network units (ONUs)* – dedicadas a clientes de pequenas empresas.

Dentro deste cenário, as categorias de serviço a serem consideradas são as mesmas inerentes a FTTB para MTU, descritas na seção 7.1.1.2.

7.1.4 ***Fiber to the cell wireless (FTTCell wireless)***

Dentro deste cenário, a ONU passa a ser chamada de *cell-site backhauling (CBU)* e deverá oferecer conectividade para as estações base *wireless* de acordo com os seguintes requisitos definidos pela ITU-T G.987.1:

- 1) Serviços TDM simétricos (*2G cell site backhauling*);
- 2) Transmissão de pacotes simétricos/assimétricos baseados em serviços de banda larga (*3G/4G cell site backhaul*); e
- 3) *Hot spots*.

7.1.5 *Fiber to the home (FTTH)*

Finalmente chega-se a seção de interesse principal deste trabalho. Conforme abordando até o presente momento, ao contrário das demais arquiteturas ópticas, na FTTH o fluxo de dados digitais é transmitido através de um meio óptico de transmissão diretamente até o terminal dos assinantes. Graças a esse tipo de abordagem, FTTH permite transmissão de dados com altíssima velocidade e melhor qualidade do que outras tecnologias de redes de acesso como radiofrequência, cobre, cabos coaxiais ou mesmo o misto entre tecnologia óptica e coaxial. Mais do que isso, FTTH vai além de expectativas futuras, pois uma maior velocidade de transmissão requer apenas terminais e roteadores mais velozes, com as fibras permanecendo as mesmas (LE, 2014).

Desta forma, FTTH sobre PON mostra-se a solução técnica de maior custo-benefício para as operadoras existentes, minimizando o investimento do desenvolvimento e reduzindo sua administração, operação e manutenção (OAM), uma vez que evita uso de repetidores e componentes elétricos ativos na planta externa – *outside plant* (OSP) – entre o OLT e o CO nas instalações dos usuários (SEGARRA et al., 2012).

Ainda dentro daquilo que foi apresentado, a escolha de tecnologia FTTH divide-se em duas categorias: ponto-a-ponto ou ponto-multiponto. Ponto-a-ponto utilizando a tradicional topologia Ethernet *Point-to-Point* (P2P), com uma fibra óptica dedicada entre o *switch* Ethernet no CO e a ONU, assim sendo, requerendo altos CaPex e OpEx para cada usuário, devido ao uso de portas exclusivas no CO e nas OSPs. Por outro lado, na topologia ponto-multiponto – *Point-to-Multipoint* (P2MP) – uma única fibra óptica existente entre o OLT divide para as ONUs o sinal em uma topologia em árvore, consequentemente os custos dos componentes e da infraestrutura é compartilhado

entre todos os usuários. Sendo assim, esta é a opção com maior custo-benefício para usuários residenciais. Entretanto, protocolos de prevenção de colisões são necessários e neste caso, utiliza-se o já citado DBA para uma distribuição eficiente de largura de banda óptica entre os usuários (SEGARRA et al., 2012).

Os padrões P2MP GPON e EPON são utilizados, uma vez que o transporte de quadros Ethernet/IP na GPON utiliza GEM na segmentação de quadros de maneira eficiente, proporcionando várias possibilidades de taxas de transmissão e suporte para até 128 usuários (SEGARRA et al., 2012). Para tanto, as seguintes categorias de serviço devem ser consideradas em projeto FTTH segundo define a recomendação ITU-T 987.1:

Serviços de banda larga assimétricos (IPTV, serviços de *broadcast* digitais, vídeo sob demanda – *video on demand* (VoD), *download* de arquivos)

Serviços de banda larga simétricos (conteúdos *broadcast*, *e-mail*, transferência de arquivos, ensino a distância, telemedicina, jogos *online*)

Serviços de telefonia legados – *plain old telephone services* (POTS) – de conexão básica de telefonia cabeada. A rede de acesso deve ser capaz de prover, de maneira flexível, estreitas faixas de serviços de telefonia utilizando emulação (replicação completa de serviço legado) ou simulação (provendo um serviço que seja similar ao serviço legado).

7.2 PLANEJAMENTO DA REDE FTTH

O planejamento de uma rede utilizando FTTH deverá definir claramente as técnicas, a arquitetura, a infraestruturas, áreas geográficas e quais serão os elementos componentes da rede. As considerações de projeto deverão lidar com cada

parte da rede ser construída. As ferramentas e aplicações deverão gerenciar eficientemente o relacionamento entre a rede a ser construída e operada, a geografia a ser coberta, os elementos empregados e os usuários a serem conectados. Técnicas FTTH cobrem localidades e distâncias muito maiores do CO do que as atendidas pelos atuais COs (DSLAMs) operando sobre linhas de cobre. Assim sendo, para as operadoras existentes, uma nova zona de múltiplas áreas deve ser definida servida por um CO principal – *Head Central Office* (HCO) – unindo várias áreas existentes ao redor dos DSLAMs legados (SEGARRA et al., 2012).

No futuro, serviços que operam sobre cobre podem continuar a existir, sendo assim, os COs que não forem HCO poderão ser liberados, proporcionando maior eficiência à rede. Decidir qual será o HCO depende de fatores como: sua posição geográfica, infraestrutura existente a ser utilizada e a distância máxima alcançável pela tecnologia de transmissão utilizada (BPON, GPON, X-GPON). Em um desenvolvimento GPON com um divisor de potência óptica contendo 64 portas e classe óptica B, o alcance máximo alcançável é de 20 km (SEGARRA et al., 2012).

Considerando atenuação extra resultante de fatores como conectores e divisores ópticos adicionais, a distância máxima entre o CO e as ONUs deve ser de 10 km para 90% dos casos e sempre inferior a 15 km. Para distâncias até 20 km, coberturas em áreas rurais, os divisores devem ser reduzidos para uma capacidade de no máximo 32 portas (SEGARRA et al., 2012).

Como visto, a natureza das localidades a serem servidas nestas zonas podem ser classificadas em três tipos: *greenfield* (novas construções com novas redes), *brownfield* (pouca infraestrutura de rede atual) e *overbuilt* (adição em existente infraestrutura de rede) (SEGARRA et al., 2012).

O modelo para lançamento FTTH é definido em cinco seções: HCO, rede de alimentação – *feeder network*, rede de distribuição – *distribution network*, rede de transmissão – *dispersion network* e rede do usuário – *user network*, conforme ilustra a figura 7.2 extraída de (SEGARRA et al., 2012).

A rede de alimentação é o segmento OSP entre o HCO e os pontos de distribuição nos armários das ruas – *Street Cabinets* (SCs). A rede de distribuição é o ponto final da rede de acesso, alcançando os armários terminais ópticos – *Optical Terminal Boxes* (OTBs) nas localidades residenciais.

A rede de transmissão conta com as fiações dentro das edificações entre os OTBs e as ONUs, localizadas nas residências dos usuários e seguidas por uma rede interna dentro das casas.

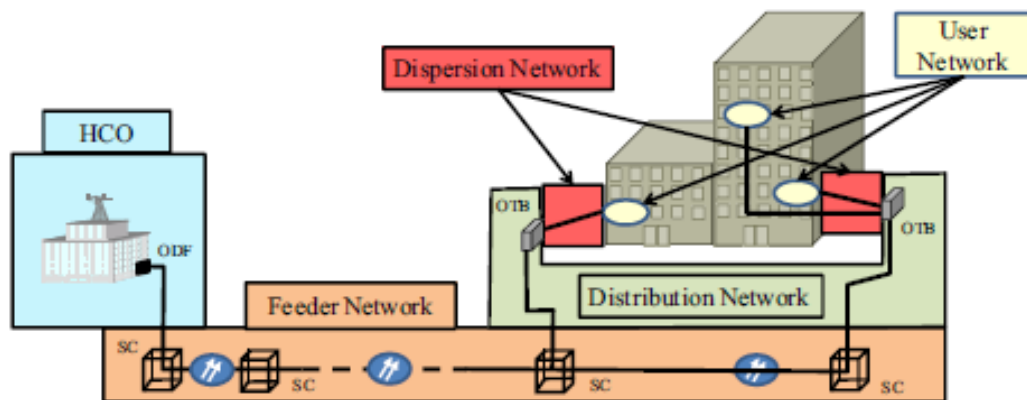


Figura 7.2 – Estrutura FTTH em seus cinco distintos estágios [27]

Em uma GPON, o fator de divisão de sua árvore geradora pode ser obtido em um ou vários níveis dependendo da densidade geográfica de usuários. Uma boa escolha, segundo Segarra et al. (2012), é a utilização de um fator de divisão 1/4 nos SCs e 1/16 nos OTBs, considerando uma densa população e em ordem inversa para localidades menos povoadas. Nas áreas rurais ou onde as residências estejam

dispersamente distribuídas, uma divisão 23/64 pode ser considerada no SC ou no polo habitacional abrangido (SEGARRA et al., 2012).

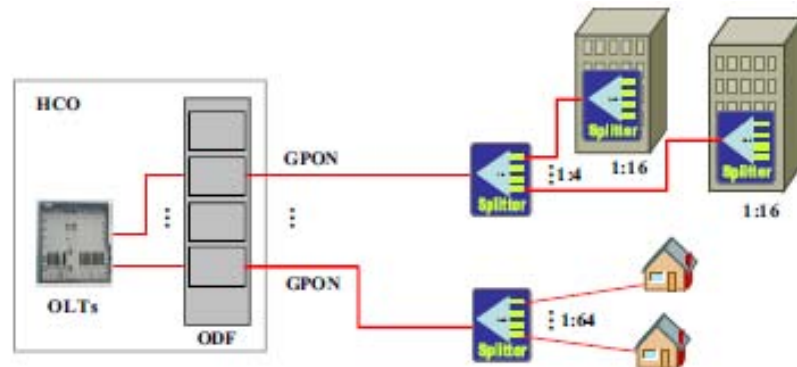


Figura 7.3 – Distintas arquiteturas com fatores de divisão dependentes da densidade habitacional da área [27]

O planejamento da rede necessita de três fases para completar o processo de desenvolvimento (SEGARRA et al., 2012):

- 1) Fase estratégica (decisões de negócios tais quais áreas/população a serem cobertas e tecnologia a ser empregada);
- 2) Fase de decisões em alto nível (escolhas geográficas e de conectividade tais quais infraestrutura e elementos a serem utilizados, bem como locais onde instalar componentes objetivando baixo custo, porém atingindo um bom negócio); e
- 3) Detalhamento (geração do plano de construção a ser passado às empresas responsáveis pela instalação).

Um planejamento de alta qualidade carece de ser baseado em informações precisas a respeito da demografia, da localização da infraestrutura presente, dos

componentes e também sobre a distribuição populacional. Esta é a base para a escolha da zona a ser coberta pelo HCO e para dimensionar a topologia da rede, a nova infraestrutura e os componentes a serem desenvolvidos. A operadora precisa de uma base de dados geográficos adicional nas mais diversas camadas contendo a infraestrutura existente na planta (espeço do CO, dutos, polos e SCs), cabos para transmissão (cabos de cobre e cabos ópticos) e componentes que estão atualmente em operação (equipamentos, caixas de emendas, divisores, OTBs) (SEGARRA et al., 2012).

Informações sobre as residências, edificações e população são mais complexas de serem obtidas, entretanto isso pode ser conseguido nos municípios ou de outras companhias de prestação de serviços como as de fornecimento de água e de eletricidade. De qualquer maneira, para se obter uma dimensão exata, pode-se realizar visitas a casas e edifícios e contabilizar o número de apartamentos e enquanto isso estudar como projetar a melhor distribuição da rede de acesso (SEGARRA et al., 2012).

Antes de implantar a alimentação e distribuição da rede, especial atenção deve ser dada aos direitos de passagem para o cabeamento – *rights of way* (ROW) – junto dos órgãos responsáveis por isso, de maneira que se possa utilizar ou construir uma infraestrutura própria (SEGARRA et al., 2012).

7.3 DIRETRIZES DE PROJETO FTTH

Para se realizar um projeto, assim como a maioria dos casos, é necessário haver diretrizes bem definidas com objetivo de nortear todos os processos do projeto.

Assim sendo, esta seção sugere algumas diretrizes baseando-se em trabalhos correlacionados ao assunto.

7.3.1 **Determinação do *Head Central Office* e sua zona associada**

Em primeiro lugar, o planejamento estratégico da rede seleciona o HCO onde deve-se alocar os OLTs ou equipamentos ativos e os quadros de distribuição óptica – *Optical Distribution Frames* (ODFs) – que interconectam as fibras das plantas externas (OSP) com os equipamentos contidos no CO (SEGARRA et al., 2012).

Os quadros de distribuição óptica (ODFs) fornecem controle às fibras, permitindo aos cabos da OSP serem conectadas em qualquer porta dos terminais de linha óptica (OLTs) (SEGARRA et al., 2012).

Os ODFs de alta densidade, reduzem o espaço ocupado e são desejáveis para um projeto de redes de acesso FTTH. Um ODF típico possui 256 conexões (conectores e emendas), entretanto, ODFs de até 1.500 conexões são encontrados com até 2.300 emendas de fibra sem conectores disponibilizados (SEGARRA et al., 2012).

As topologias da rede de acesso não possuem, em sua maioria, proteção a OSP, uma vez que um sistema resiliente seria dispendioso demais para o caso. Desta maneira, a melhor escolha topológica com baixo CaPex é uma arquitetura em árvore P2MP com divisores de 64 saídas, economizando ODFs no HCO e fibras na OSP (SEGARRA et al., 2012). Ademais, GPON fornece QoS para multi-serviços.

Em uma zona com densidade uniforme de habitações, a ideal localização e também mais econômica do HCO é o centro da zona por ele servida. Porém em zonas com densidade irregular, a localização ideal move-se a partir do mais perto possível

do centro da área que possui maior densidade demográfica. Em todo o caso, tal decisão deve considerar o espaço livre contido no CO em que se deseja acomodar o HCO, a geografia do terreno, a infraestrutura já existente de OSP (dutos e polos) e a população a ser servida, incluindo novas construções com novas redes (*greenfileds areas*) e sua infraestrutura (SEGARRA et al., 2012).

Para um cenário GPON, com cidades densamente povoadas, o HCO pode atingir até 200.000 usuários dentro de distâncias de até 10 km, correspondendo a 4 COs com 50.000 linhas de telefonia em média, mas é conveniente não exceder esta quantidade e até mesmo servir menos moradores por razões de segurança (SEGARRA et al., 2012).

Para cidades que são capitais em uma determinada região, mesmo abaixo de 150.000 habitantes, sugere-se até 2 HCOs, um para a cidade e outro para sua região. Por outro lado, para áreas pouco povoadas e de baixo número de residências, o HCO pode cobrir distâncias de 15 km ou até mesmo 20 km com divisores ópticos de 32 saídas (SEGARRA et al., 2012).

Geralmente, a zona a ser coberta pelo HCO possuirá COs com cabeamento de cobre legado (DSLAMs) ao longo de sua área de cobertura. A decisão de inseri-las a um HCO em particular dependerá do número de usuários com conexão legado de fiação de cobre, bem como das instalações de sua infraestrutura existentes nestas zonas. Entretanto, estas áreas com heranças de COs suportados por fios de cobre podem não ser completamente inseridas em um zona abrangida por um HCO. Estes tipos de áreas podem ser particionadas em várias zonas distintas, dependendo da atual e da nova infraestrutura de plantas externas (OSPs) a serem construídas e do número de usuários a serem servidos, podendo estes permanecerem com a

conexão de cobre legada ou migrarem para FTTH caso queiram (SEGARRA et al., 2012).

7.3.2 Projeto da rede de alimentação

Os cabos que partem dos ODFs e alcançam os pontos concentradores de fibras – *Fiber Concentration Points* (FCPs) – onde estas serão posteriormente distribuídas para os OTBs que compõe a rede de alimentação. Esta rede tem uma topologia em árvore, com os FCPs primários no tronco e os FCPs secundários nos ramos das árvores. A figura 7.4 apresenta uma configuração de rede de alimentação (SEGARRA et al., 2012).

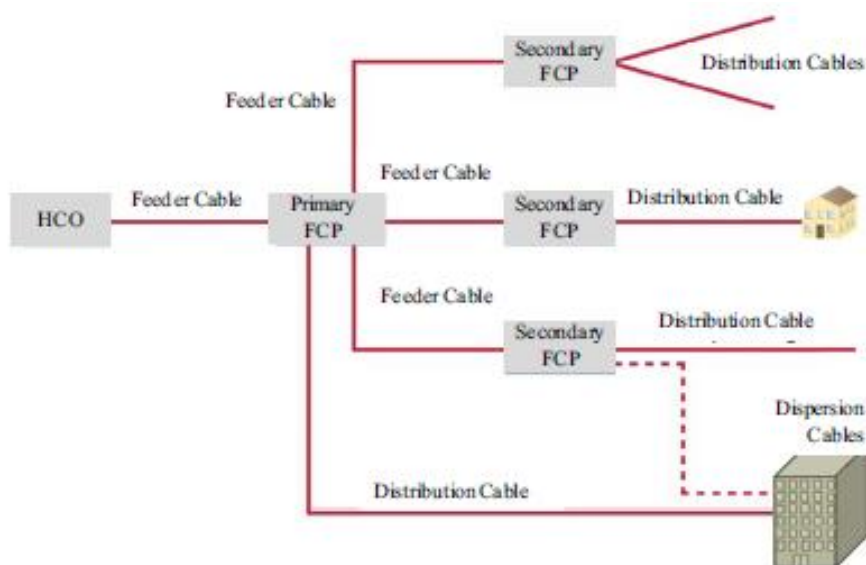


Figura 7.4 – Rede de alimentação com topologia em árvore [27]

Cabos de alta capacidade levam até 512 fibras do ODF para o FCP primário via dutos principais, alcançando distâncias de vários quilômetros (SEGARRA et al., 2012).

Uma zona HCO de no mínimo 20.000 habitações têm direito a um cabo de 512 fibras. Em regiões de pequeno número de habitantes ou por razões geográficas, um cabo contendo 256 fibras pode ser o suficiente. Em uma zona contendo múltiplas áreas associadas a uma região altamente povoadas um único HCO pode implementar até uma dúzia de árvores de alimentação. Teoricamente, a configuração ideal de rota de alimentação para um modelo mais econômico deve ter uma geografia simétrica contendo um tronco principal originado no HCO e uma distribuição em pinheiro – *Pine Tree* – com ramos perpendiculares ao tronco de alimentação, conforme apresenta a figura 7.5 (SEGARRA et al., 2012).

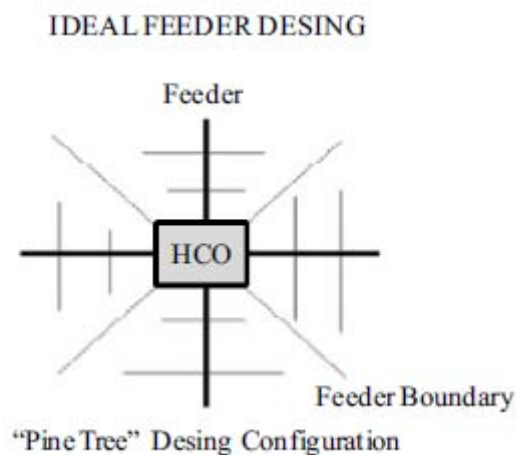


Figura 7.5 – Projeto ideal de rota de alimentação [27]

Um FCP cobre uma área de pontos de concentração de fibras – *FCP-area* – atendendo locais que já contenham infraestrutura a ser atualizada – *brownfield* – ou locais onde a infraestrutura será adicionada em concorrência com outras já existentes – *overbuilt*. Nas *greenfield areas* a infraestrutura de acesso deve ser construída na mesma oportunidade em que são erguidas edificações (SEGARRA et al., 2012).

Visando obviamente a utilização das valas já abertas para a realização das construções, mitigando assim os CapEx.

De maneira a dimensionar os cabos que irão formar a rede de alimentação, o número de habitações na *FCP-area* deve ser conhecido. Isto implica em obter um censo da população ou melhor distribuição das casas, escritórios, lojas e apartamentos. Outra alternativa é utilizar os dados da rede de cobre legada e as caixas terminais de cobre – *Copper Terminal Boxes* (CTBs) – com um fator de redução devido a multiplexação nos cabos de cobre de distribuição compartilhados, levando em consideração apenas os cabos de par trançado ativos (SEGARRA et al., 2012).

As regras para projetar a rede de alimentação devem prever uma evolução de longo prazo, uma vez que a instalação de cabos é algo que demanda alto custo financeiro para as operadoras e de modo que as fibras ainda não utilizadas poderão permanecer em repouso aguardando novos desenvolvimentos (SEGARRA et al., 2012).

O fornecimento de serviços empresariais mediante arquitetura FTTB com topologia P2P devem ser considerados no projeto de abertura de valas uma vez que as empresas necessitam de suas próprias conexões de fibras para suportar VLANs e acesso aos roteadores localizados nos COs com garantia fixa de alta taxa de bits. Portanto, uma regra de previsão para o número de fibras a serem passadas nas valas pode conter: 4 fibras para cada 100 cabos de par trançado de cobre por residência – *browfield areas* – considerando um número extra de fibras para incluir escritórios. Ressaltando-se que esta é uma opção de sobre dimensão onde um divisor com 64 saídas por fibra de alimentação é utilizado. Desta forma, uma alternativa mais conservadora seria prover apenas 2 fibras por cada 100 cabos de par trançado de cobre ativos na rede de acesso (SEGARRA et al., 2012).

Em situações de novos empreendimentos imobiliários – *greenfields areas* – a regra pode ser de uma única fibra para cada 25 ou 50 residências, arredondando para um múltiplo de 4. O número total de fibras de alimentação em um conjunto de *FCP-areas* será constituído de uma árvore de alimentação e um número que não deve completar a capacidade total do tronco do cabo de alimentação, haja vista as dezenas de fibras a serem dedicadas às funções operacionais, de administração e de manutenção (OAM) (SEGARRA et al., 2012).

Ferramentas de engenharia de *software* baseadas em aplicações de sistemas de informações geográficas – *Geographical Information Systems* (GIS) – abrangendo as *FCP-areas* e considerando as linhas de cobre implantadas ou o número de residências existentes dentro delas, podem ser utilizados para dimensionar o número de fibras necessárias para cada *FCP-area* em projetos automatizados. Adicionado às fibras lançadas em cada FCP, o número de fibras requeridas nos cabos de alimentação pode ser calculado a partir do número de ramos do tronco, estimando sua capacidade precisa, conforme apresenta figura 7.6 (SEGARRA et al., 2012).

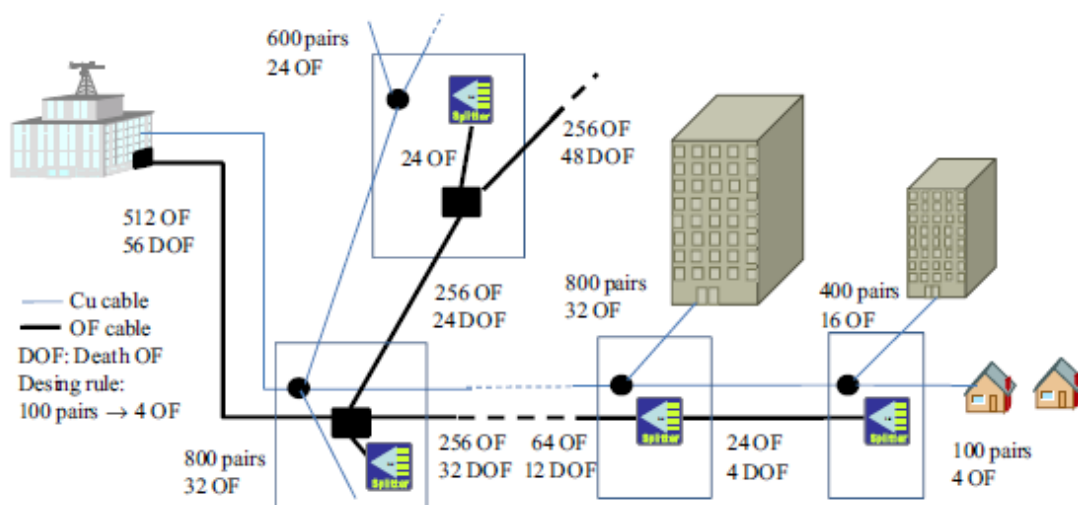


Figura 7.6 – Dimensionamento de uma árvore de alimentação [27]

7.3.3 Projeto da rede de distribuição

A rede de distribuição compreende a ligação de um ponto concentrador de fibra (FCP) e o armário da rua (SC) servido as áreas secundárias de uma rede de acesso.

O SC é primordialmente localizado no subsolo, porém pode ser encontrado em um armário na superfície (maioria dos casos VDSL). O SC distribui os cabos contendo fibras para suas laterais alcançando os OTBs nas casas e nos prédios (SEGARRA et al., 2012).

A rede de alimentação e a rede de distribuição possuem topologias similares e cobrem áreas em formas semelhantes (SEGARRA et al., 2012). A figura 7.7 sugere as topologias das redes de alimentação e de distribuição e a disposição de sus pontos concentradores de fibras.

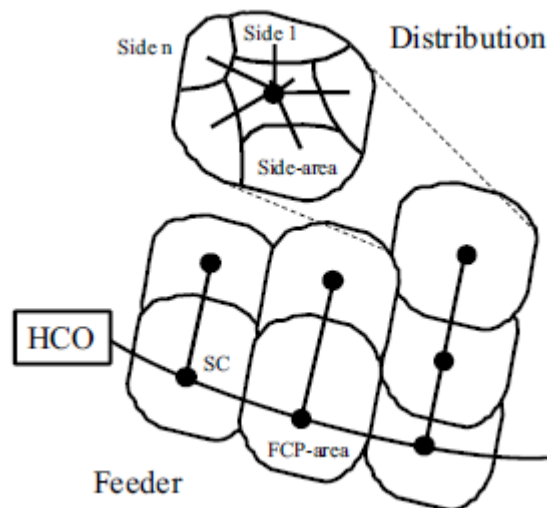


Figura 7.7 – Áreas de pontos concentradores de fibras (FCPs) e áreas secundárias das redes de distribuição [27]

A localização ótima de um SC possui igual análise realizada para definir a localização do HCO abordada na seção 7.3.1, uma vez que um SC abastece várias

áreas secundárias e também os *dropping cables* para os armários terminais ópticos (OTBs) que devem ser estabelecidos. Com uma densidade uniforme de residências, a localização ideal do SC será no centro da área secundária a ser servida e de tal sorte que seja o mais próximo possível da região que apresentar maior densidade demográfica para áreas secundárias que possuam desigual concentração de OTBs (uma vez que os custos crescem exponencialmente à medida que a localização do SC afasta-se do seu ponto ideal) (SEGARRA et al., 2012).

Em um cenário real, cidades e vilas não são consideradas necessariamente ideais para aplicação destas regras, de modo que o projetista da rede deve ajustar as localizações dos SCs para os planejamentos das áreas secundárias e das áreas onde os pontos concentradores de fibras (FCPs) permanecerão, a fim de que se possa atender da melhor forma possível as condições ideais de projeto aliadas à infraestrutura disponível (SEGARRA et al., 2012).

Os cabos de distribuição secundária que partem do SC alcançam os OTBs em edifícios e residências. Os OTBs são localizados no ponto de entrada da edificação – *Building Entry Point* (BEP) – no armário dentro da residência, numa fachada, poste, garagem, varandas ou terraços. Neste ponto, é realizado o estágio final de divisão da rede, conforme pode-se visualizar na figura 7.8. Alguns OTBs para uso nas plantas externas (OSPs) podem conter dois divisores, até 16 portas e bandejas de emendas para proporcionar continuidade com a distribuição da rede. Outros OTBs externos podem ser empregados apenas para descida final dos cabos e possuem de 4 a 8 portas. É de se notar que armários terminais ópticos (OTBs) internos devem conter a correta capacidade para servir todos os apartamentos do edifício. Desta forma, é possível encontrar OTBs grandes e médios contendo divisores e bandejas de

emendas para a rede de dispersão e pequenos OTBs que apenas contém portas de conexão (SEGARRA et al., 2012).

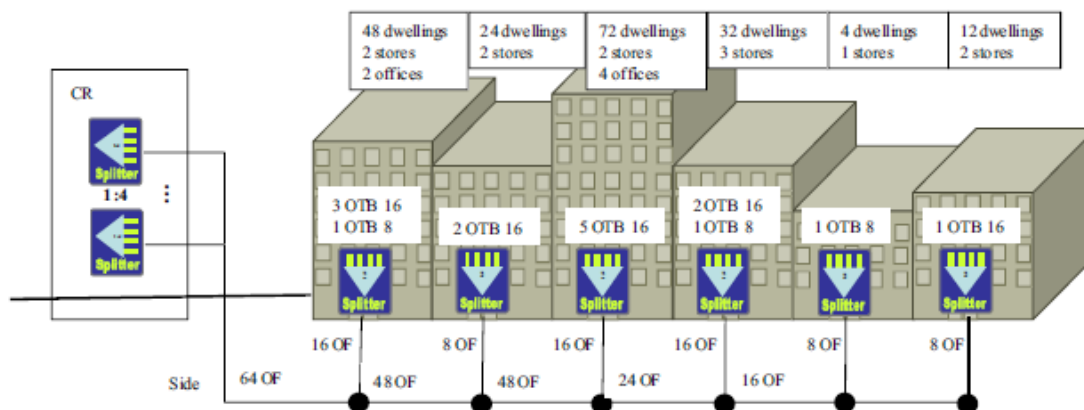


Figura 7.8 – Rede de distribuição em áreas secundárias de uma rede de acesso [27]

Normalmente cabos de fibra seguem o mesmo caminho que os cabos de cobre existentes, porém novas maneiras de trajeto podem ser implantadas. O dimensionamento dos cabos de distribuição secundários é similar ao projeto da rede de alimentação em uma topologia em árvore, como pode ser visto na figura 7.8 (SEGARRA et al., 2012).

Os cabos de fibra que alimentam o estágio secundário com divisores de 16 portas devem fornecer divisões suficientes para cobertura de todos os locais. Estes cabos são projetados adicionando fibras aos ramos, retornando ao tronco, e devem ser em múltiplo de 8 fibras, arredondando para o mais próximo acima do valor da capacidade prevista na tabela 7.1 (SEGARRA et al., 2012).

Tabela 7.1 – Número de fibras por cabo e tubos soltos para rede de distribuição [27]

Fibras	512	256	128	96	64	48	32	24	16	12	8	6	4
Tubos	16	16	16/ago	12	8	6	4	6	4	6	1/4	1/3	1/2
Fibras por tubos	32	16	8/16	8	8	8	8	4	4	2	8/2	6/2	4/2

Os OTBs atuam também como *joint closures* (JCs), porém pequenos JCs, contendo bandejas de emendas, podem também ser usados na rede de distribuição se necessário (SEGARRA et al., 2012).

Por fim, devem-se manter três fibras nos OTBs com objetivo de que estas sejam utilizadas como FTTB P2P para atender serviços empresariais/comerciais (SEGARRA et al., 2012) pelos mesmos motivos que aqueles explicitados anteriormente nesta mesma seção.

7.3.4 A Rede de transmissão e a rede do usuário

A rede de transmissão ou de dispersão compreende a ligação entre o OTB e uma saída óptica de telecomunicações – *Optical Telecommunications Outlet* (OTO) – ou uma caixa terminal do usuário – *User Terminal Box* (UTB) – localizados dentro da residência do usuário (SEGARRA et al., 2012).

Segundo a recomendação ITU-T G.657, cabos do tipo monotubo anti-chamas adequados para uso interior com baixo raio de curvatura devem ser utilizados para este fim. Em um OSP ou OTB uma solução de pré conectorização é a forma mais prática para esse fim (SEGARRA et al., 2012).

A interconexão entre o BEP e o piso de distribuição é conhecida como cabo de elevação vertical – *vertical riser cable* – do porão ao topo do edifício, contendo ou não caixas de distribuição por andar. Figura 7.9 (SEGARRA et al., 2012).

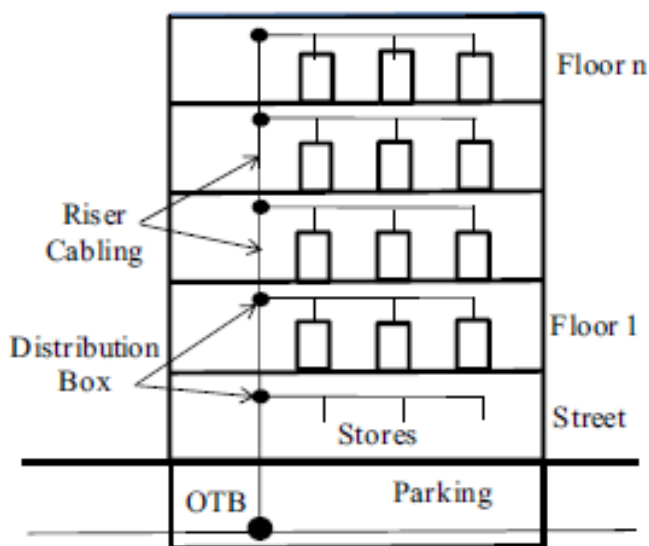


Figura 7.9 – Rede de transmissão/dispersão em cabo de elevação vertical [27]

No BEP, dentro de um armário, e na caixa de distribuição do andar, a solução utilizada pode ser uma emenda ou um conector, tipicamente SC-APC. Na residência do usuário, o cabo KT termina no OTO, onde a ONU está opticamente conectada com um cabo de manobra conectorizado. A ONU possibilita conexões elétricas Ethernet, as quais fornecem todos os tipos de serviços convergem na rede (SEGARRA et al., 2012).

Uma vez implantada a rede e os serviços oferecidos, a taxa de penetração, que é a razão entre residências conectadas sobre residências cabeadas, afere o sucesso da rede FTTH naquela determinada área, a fim de se obter uma ideia do retorno sobre o investimento – *Return on Investment* (ROI) (SEGARRA et al., 2012).

7.4 UMA VISÃO SOBRE CUSTO NA IMPLANTAÇÃO FTTH

Esta seção apresenta um estudo de caso que desenvolve um modelo relacionado aos custos envolvidos para implantação de um projeto FTTH apresentado por Casier et al. (2008).

Para tornar possível a tomada de decisões na implantação de FTTH, um acurado modelo de custos se faz necessário contendo detalhes suficientemente amplos das diferenças existentes entre o seu desenvolvimento em distintas regiões. Tendo ciência que os custos do desenvolvimento de uma rede FTTH são relativamente altos, torna-se importante a criação de um modelo de custos mais detalhado (CASIER et al., 2008).

Muitas abordagens enfocam os custos relacionados ao capital empregado para implantação de uma rede FTTH – *capital expenditures* (CapEx) – e olham com menos detalhes para os custos operacionais desta rede – *operational expenditures* (OpEx). De maneira que a arquitetura FTTH é considerada o último passo na evolução relacionada ao aumento na largura de banda para as redes de acesso e que se espera que esta tecnologia permanece ativa por ao menos 50 anos, faz sentido também levar em consideração os custos operacionais (OpEx) envolvidos durante sua instalação. De forma adicional é aconselhável que se modele a maior parte dos gastos globais em maiores detalhes independentemente do fato deste serem CapEx ou OpEx (CASIER et al., 2008).

7.4.1 Metodologia para a definição do ciclo de vida da rede

Para Casier et al. (2008) um ciclo de vida típico da rede é composto por 5 distintos estágios muito bem definidos:

- 1) Planejamento – *Planning*: Processo que inclui a escolha da tecnologia, projeto topológico, escolha da ordem de implantação;
- 2) Desenvolvimento – *Deployment*: Implantação da rede propriamente dita, plantas externas (OSPs), assim como plantas internas (ambientes fechados). O que significa fornecer a infraestrutura suficientemente adequada para que o primeiro cliente possa ser conectado à rede;
- 3) Migração do cliente e provisão de serviços – *Service provisioning*: A conexão propriamente dita dos assinantes para o novo serviço oferecido, uma vez que a infraestrutura já está assentada. Isto inclui sobrepor os serviços existentes na rede antiga quando isso for apropriado;
- 4) Subir e rodar a rede – *Up and running*: Operar a rede durante operação normal, incluindo os custos contínuos envolvidos na infraestrutura, assim como as atividades do dia-a-dia; e
- 5) Destruição – *Teardown*: Destruir a infraestrutura da rede existente, por exemplo, quando da migração para uma nova plataforma.

Destas fases apresentas, a fase de planejamento lida com importantes decisões em muitos fatores de custo dirigidos a fase de desenvolvimento, tais quais fatores geográficos e demográficos que terão um grande impacto nos custos (CASIER et al., 2008).

Como pode ser analisado daquilo que foi apresentado até o presente o momento, fica evidente que uma rede FTTH é mais viável de ser implantada em regiões densamente povoadas. Além é claro que, as distintas opções tecnológicas podem levar a grandes diferenças de custo em futuros cenários. Sendo a escolha mais economicamente viável o uso das redes ópticas passivas (PONs), onde o cliente é conectado ao CO na forma ponto-multiponto (P2MP), em detrimento as tecnologias também aqui apresentadas onde o cliente possui uma linha de fibra dedicada com o CO (P2P) (CASIER et al., 2008).

FTTH é um grande projeto que envolve um dispendioso trabalho de escavação de valas para implantação dos cabos contendo as fibras ópticas. Desta forma é necessária uma grande quantidade de tempo gasto com planejamentos para a correta condução desta fase (CASIER et al., 2008).

Ao término da etapa de desenvolvimento, a real implantação pode ser iniciada. Esta etapa do ciclo de vida é tipicamente indicada como a que possui maior custo no consumo (CapEx), de 60% a 70% do total dos gastos (CASIER et al., 2008).

Uma vez a rede em seu lugar, os assinantes devem ser conectados a nova rede. Casier et al. (2008) chamam esta parte de migração dos assinantes e provisionamento dos serviços. Fazer a conexão física da rede aos clientes demanda altos custos. Uma vez que a rede está funcionando, esta deve ser mantida neste estado o qual leva a necessidade de monitoramento, manutenção e possíveis reparos (CASIER et al., 2008).

O custo dos reparos é desconhecido no trabalho apresentado por Casier et al. (2008), porém é definido como um importante fator de risco a ser considerado para longo prazo. Adicionalmente existem os custos fixos da infraestrutura que incluem consumo de energia, direitos de passagem dos cabos e habitações das centrais.

Por fim, como as redes de fibra óptica possuem expectativa de duração de vida por um longo período, não há intenção em substituí-la por uma nova tecnologia no que se refere a levar em consideração o custo da fase de destruição da rede implantada (CASIER et al., 2008).

7.4.2 Custos gerais para um caso de estudo com FTTH

Para a delimitação dos custos gerais, Casier et al. (2008) consideraram a implantação do projeto em uma cidade com aproximadamente 10.000 potenciais assinantes, o que significa 10.000 residências, incluindo locais ainda inabitados. Utilizando uma arquitetura PON com divisores ópticos centralizadores 1:32, significando que existem por grupo de 256 clientes um ponto de flexibilização no qual são conectadas 256 fibras de distribuição para 8 fibras de alimentação vindas do CO por meio destes divisores ópticos 1:32, os custos gerais foram distinguidos em: implantação (ou infraestrutura física), migração e provisionamento do serviço e subir e rodar a rede – *up and running* (custos relacionados a manutenção). Onde, considera-se que o custo da fase de planejamento provavelmente será proporcional ao custo total do projeto completo. Porém, no projeto aqui citado, esta parte não foi modelada, estimando-se este custo em torno de 10% do total. A figura 7.10 apresenta a distribuição percentual obtida a partir do modelo de custos desenvolvido por Casier et al. (2008).

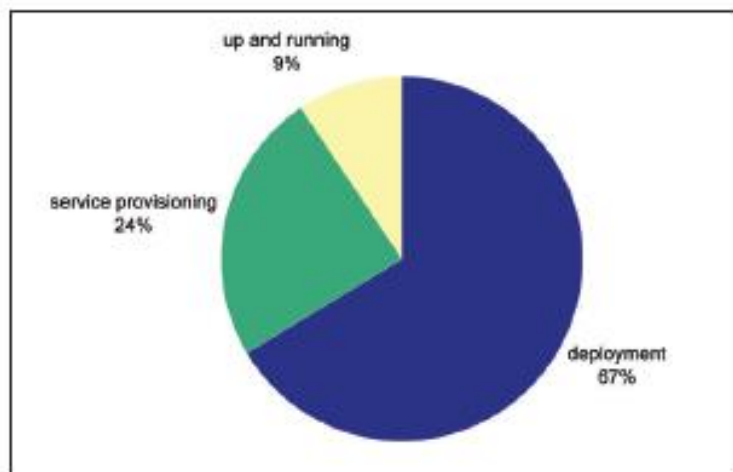


Figura 7.10 – Custos envolvidos para um projeto FTTH [3]

Observa-se que o custo da implantação consome a maior parte do total, o que inclui gastos relacionados às plantas internas e externas contabilizando 67% dos gastos. Provisionamento do serviço, onde considera-se conectar os assinantes a nova rede FTTH significa 24% dos custos (assumindo uma taxa de adesão de 100% e todos os clientes conectados no início da operação da rede). Os custos relacionados a subir e rodar a rede tomam em torno de 9% dos gastos. Para tanto consideram-se os custos para reformulação de contratos e manutenção, ruptura de cabos, propagandas, consumo de energia por um período de 10 anos, assim como todos os demais cálculos feitos para as demais fases do projeto (CASIER et al., 2008).

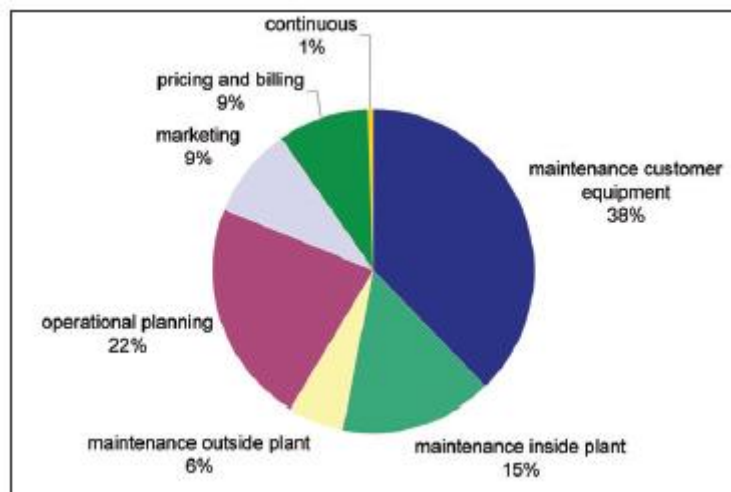


Figura 7.11 – Perspectiva de custos operacionais para manter a rede ativa e funcionando [3]

É relevante citar que para Casier et al. (2008), uma taxa de adesão drasticamente menor do que a considerada no estudo do modelo pode representar um impacto significativo na expectativa de custo por casa conectada. Aumento em sobre maneira os valores envolvidos para cada nova conexão estabelecida. As figuras 7.11 e 7.12 dão continuidade na apresentação dos resultados obtidos mediante a criação do modelo de custos para implantação da arquitetura FTTH proposta.

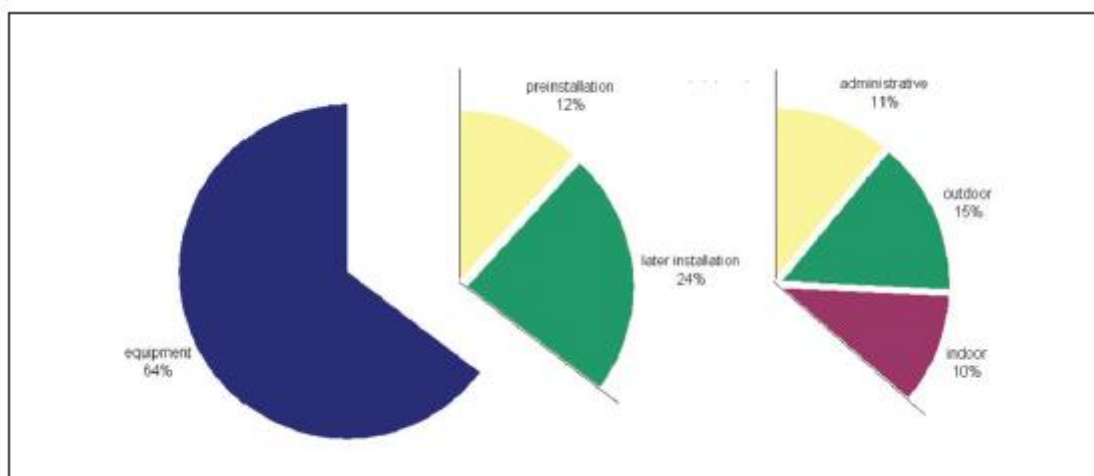


Figura 7.12 – Custo para provisionamento de serviço [3]

8 SIMULAÇÃO

Neste capítulo será apresentada a simulação de um sistema de rede óptica passiva (PON) com uso da arquitetura *fiber to the home* (FTTH) e também de uma rede operando com tecnologia VDSL, lançando mão de um *software* específico para este propósito. Serão apresentados também os resultados obtidos, assim como serão realizadas discussões sobre os mesmos.

8.1 O SOFTWARE OPNET

Para a realização das simulações das redes FTTH sobre GPON e VDSL foi utilizado o *software OPNET® Modeler* em sua versão 14.5.A PL8. *OPNET® Modeler suite*, é um conjunto de protocolos e tecnologias com objetivo de conceber, modelar e analisar redes de comunicação, uma vez que estas redes e as aplicações que necessariamente devem rodar sobre elas cada vez mais são obrigadas a trabalharem em conjunto para fornecer um melhor desempenho na demanda de usuários empresariais e também usuários domiciliares. Em outubro de 2012 a *OPNET®* foi absorvida pela *Riverbed*, sendo o *software OPNET® Modeler* renomeado nas versões que se seguiram para *Riverbed Modeler*.

Tal *software* foi o escolhido devido às informações levantadas sobre o *OPNET® Modeler* que conduziram a um levantamento que apontou a *OPNET Technologies Incorporated*, fundada em 1986, ter sido considerada líder no fornecimento de soluções para a aplicação e gestão de desempenho de rede. Sua interface gráfica mostrou-se prática na sua utilização levando a rápidas construções de modelos de

redes dentro daquilo que se procurou abordar neste trabalho, evidenciar o aumento do tráfego de dados possibilitado com o uso de FTTH em detrimento a VDSL.

8.2 CENÁRIOS E RESULTADOS OBTIDOS

O *software* oferece diversas ferramentas para análise do tráfego da rede. Para a simulação realizada nos dois cenários testados foram selecionados os seguintes itens de avaliação:

Estatísticas globais – *Global Statistics* – abrangendo estatísticas do tráfego:

- 1) Ethernet (*delay* dado em segundos);
- 2) HTTP (tráfego enviado e recebido considerando pacotes por segundo e bits por segundo);
- 3) Tráfego para vídeo conferência (a variação no atraso do pacote e tráfego enviado e recebido considerando pacotes por segundo e bits por segundo); e
- 4) Tráfego de voz (*jitter*, a variação no atraso do pacote e tráfego enviado e recebido considerando pacotes por segundo e bits por segundo).

Estatísticas de objetos – *Objects Statistics* – na quais, o tráfego dos enlaces que conectam cada objeto inserido no sistema simulado (estações de trabalho, *switches*, *modems*, roteadores e servidores) são observados separadamente.

A seleção dos parâmetros a serem observados para os equipamentos de interconexão da rede a seguinte (*switches*, *modems* e roteadores) levou em consideração:

- 1) Utilização máxima e mínima do enlace;
- 2) *Throughputs* máximos e mínimos observados em relação a pacotes por segundo transmitidos; e
- 3) *Throughputs* máximos e mínimos observados em relação a bits por segundo transmitidos.

Ainda dentro de estatísticas de objetos – *Objects Statistics* – a seleção dos parâmetros a serem observados para as estações de trabalho da rede cliente e para o servidor de vídeo, voz e dados levou em consideração as mesmas estatísticas observadas no escopo global da rede simulada e no escopo dos objetos de interconexão acima mencionados.

Entretanto, essa seção procura apresentar as principais observações colhidas no que tange ao tema principal deste trabalho: Evidenciar o gargalo existente na tecnologia amplamente utilizada nas atuais redes de acesso (VDSL) quando a distância do enlace entre os dispositivos aumenta, objetivando assim redução das CapEx e OpEx. Ademais, demonstrar como tal situação pode, de fato, comprometer a interoperabilidade dos usuários finais. Por outro lado, procura-se demonstrar mediante um cenário contendo as mesmas características de tráfego a melhoria de interoperabilidade proporcionada com o uso das tecnologias.

Desta maneira, foram definidos os seguintes critérios para a realização da simulação para este trabalho:

- 1) Considerar um cenário com uso de FTTH sobre GPON, operando com transporte por meio de células ATM de 56 bytes em um link SONET OC-48 que possibilita a máxima transmissão prevista para redes GPON, ou seja, 2.5 Gbps

- parâmetros detalhados no capítulo 5 – partindo diretamente da *optical network unit* (ONU) da residência do cliente até o *optical line terminal* (OLT) situado no *central office* da operadora (CO);
- 2) Considerar um cenário com uso dos *modems* DSL na residência do cliente operando com tecnologia VDSL sobre os cabos de par de cobre seguindo da residência do cliente até o DSLAM situado no CO da operadora, conforme atualmente encontrados nas redes de acesso existentes;
 - 3) Considerar a máxima distância atingível entre a ONU e o OLT, de acordo com o padronizado nas recomendações ITU-T G.984.1, ou seja, 20 km de distância para a rede de acesso GPON;
 - 4) Aplicar esta mesma distância com objetivo de se demonstrar o quanto a tecnologia VDSL é inferior à tecnologia GPON aplicando arquitetura FTTH;
 - 5) Determinar uma rede cliente contendo 6 estações de trabalho, na qual, para efeito de amostragem, todas solicitassem simultaneamente acessos ao serviço IPTV em ambos os cenários avaliados.
 - 6) Considerar a coleta de dados ao longo de 30 minutos de transmissão

O tráfego de vídeo possui as seguintes características apresentadas na tabela 8.1.

Tabela 8.1 – Características do tráfego de vídeo a ser simulado [OPNET® Modeler]

Attribute	Value
Frame Interarrival Time Information	30 frames/sec
Frame Size Information (bytes)	352X240 pixels
Symbolic Destination Name	Video Destination
Type of Service	Best Effort (0)
RSVP Parameters	None
Traffic Mix (%)	All Discrete

Por sua vez, o tráfego de voz possui as seguintes características apresentadas na tabela 8.2.

Tabela 8.2 – Características do tráfego de voz a ser simulado [*OPNET® Modeler*]

Attribute	Value
Silence Length (seconds)	default
Talk Spurt Length (seconds)	default
Symbolic Destination Name	Voice Destination
Encoder Scheme	G.711
Voice Frames per Packet	1
Type of Service	Interactive Voice (6)
RSVP Parameters	None
Traffic Mix (%)	All Discrete
Signaling	None
Compression Delay (seconds)	0.02
Decompression Delay (seconds)	0.02

Enquanto que para o tráfego de dados foram consideradas as seguintes características apresentadas na tabela 8.3.

Tabela 8.3 – Características do tráfego de dados a ser simulado [*OPNET® Modeler*]

Attribute	Value
HTTP Specification	HTTP 1.1
Page Interarrival Time (seconds)	exponential (60)
Page Properties	(...)
Server Selection	(...)
RSVP Parameters	None
Type of Service	Best Effort (0)

Já para os perfis de usuários foram atribuídas as seguintes características conforme apresenta a tabela 8.4.

Tabela 8.4 – Características de perfis de uso a serem simulados [*OPNET® Modeler*]

	Profile Name	Applications	Operation Mode	Start Time (seconds)	Duration (seconds)	Repeatability
Video	Video	(...)	Simultaneous	uniform (100,110)	End of Simulation	Once at Start Time
Voice	Voice	(...)	Simultaneous	uniform (100,110)	End of Simulation	Once at Start Time
Data	Data	(...)	Simultaneous	uniform (100,110)	End of Simulation	Once at Start Time

8.2.1 Resultados e discussões

Esta seção aborda especificamente os resultados obtidos ao longo das simulações. Apresentando-os e comparando-os com a utilização dos gráficos gerados pelo *OPNET® Modeler* ao término da realização dos eventos simulados. Para fins de análise, adotam-se as identificações da tabela 8.1 para compreensão dos gráficos.

No primeiro momento, demonstra-se através da figura 8.1 e figura 8.2, no cenário VDSL que ocorre uma grande perda de transmissão no tráfego global da rede simulada. A taxa de transmissão para vídeo conferência chega a 15 Mbytes por segundo e permanece constante, figura 8.1. A taxa de recebimento atinge um pico de 28 kbytes por segundo e decai a zero, figura 8.2, muito em função da distância de 20 km existente nos enlaces entre os modems (cliente e servidor) e os DSLAM. Tornando impossível a transmissão dentro destas distâncias sobre a tecnologia VDSL.

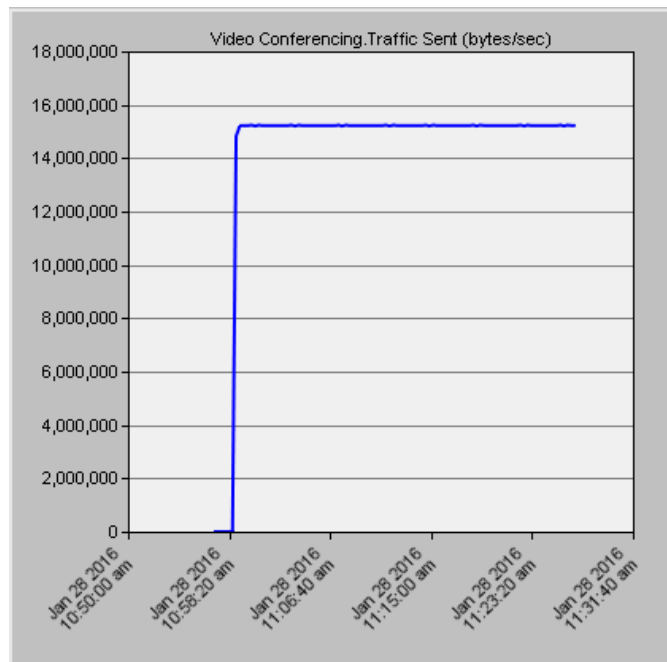


Figura 8.1 – Tráfego global de vídeo conferência enviado no cenário VDSL

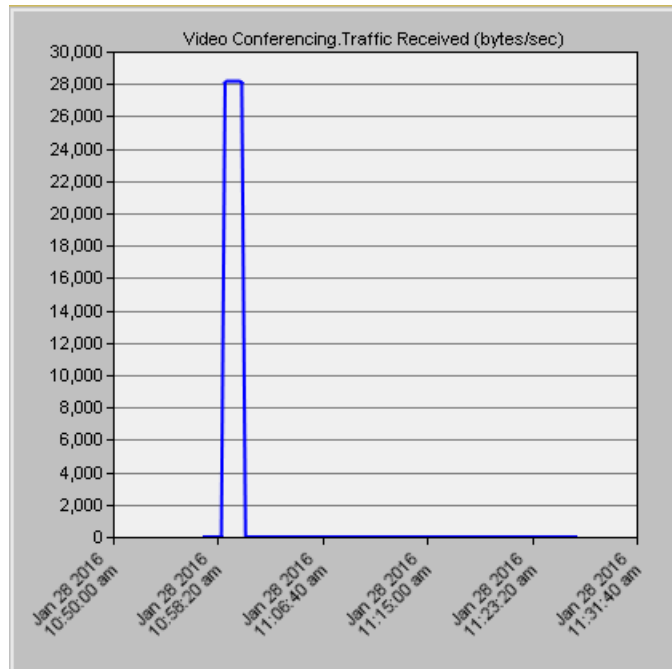


Figura 8.2 – Tráfego global de vídeo conferência recebido no cenário VDSL

Agora observemos a transmissão de voz sobre este mesmo cenário, figuras 8.3 e 8.4. Note como a taxa de transmissão atinge o limiar de 10 kbytes por segundo e segue constante, figura 8.3, e que, mesmo diante da natureza PSTN, a taxa de recebimento oscila em na faixa de apenas 7kbytes por segundo, figura 8.4.

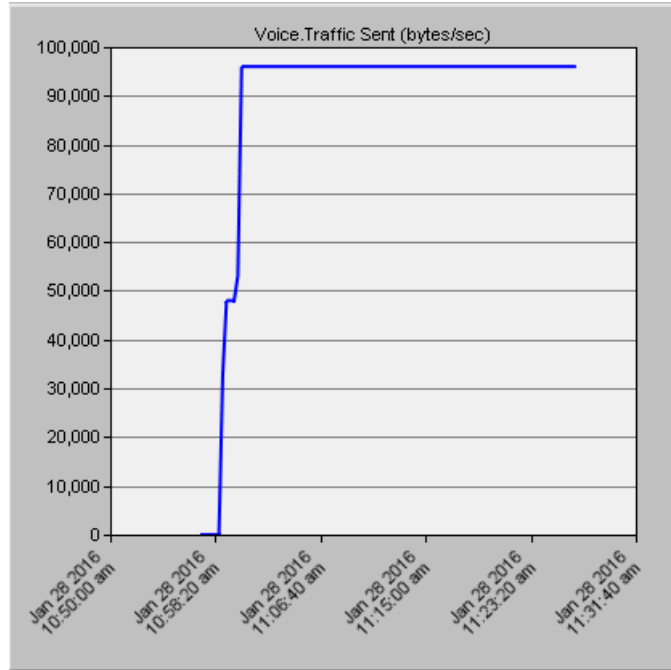


Figura 8.3 – Tráfego global de voz enviado no cenário VDSL

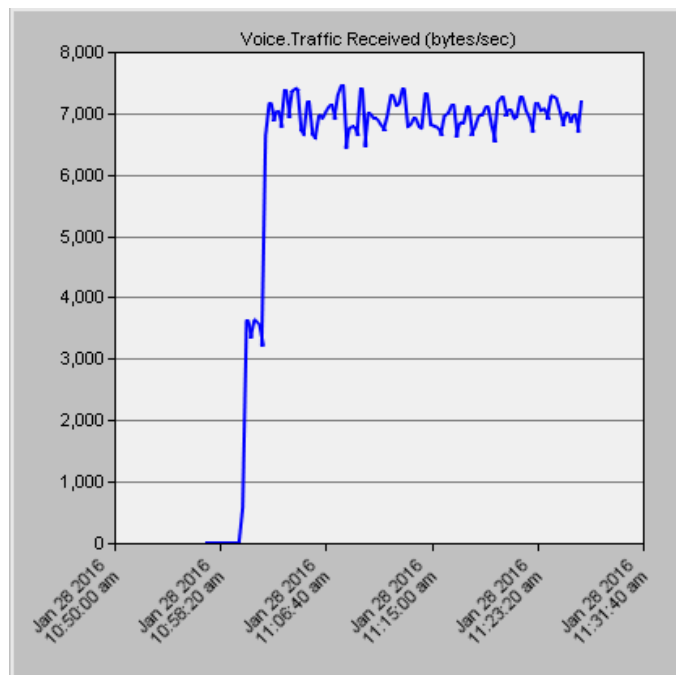


Figura 8.4 – Tráfego global de voz recebido no cenário VDSL

Por outro ângulo de análise, note a diferença na taxa de pacotes enviados e nos pacotes recebidos no gráfico comparativo ilustrado na figura 8.5.

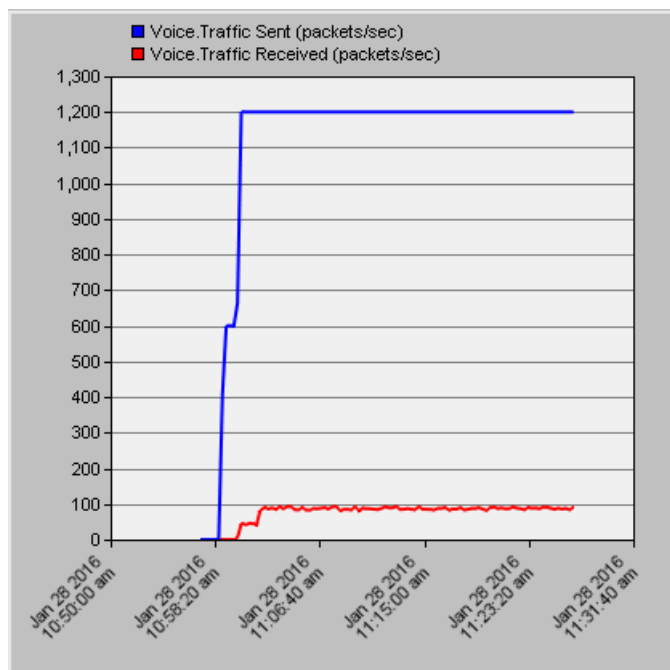


Figura 8.5 – Taxa global de pacotes de voz enviados e recebidos no cenário VDSL

Observemos agora, como um outro exemplo, a taxa de utilização do enlace entre o DSLAM da operadora e o modem do servidor da rede simulada, linha vermelha no gráfico ilustrado na figura 8.6. Onde os valores são de 0% a 100%. É possível observar que o enlace fica plenamente saturado ao longo do tempo observado. A linha azul representa o enlace Ethernet 1000BaseTX entre o servidor e seu modem. É possível notar que, o enlace da LAN do servidor é pouco utilizado já que as demandas de acesso não chegam até ele, conforme solicitadas pelos clientes do outro lado da rede de acesso que opera sobre cabos de par de cobre.

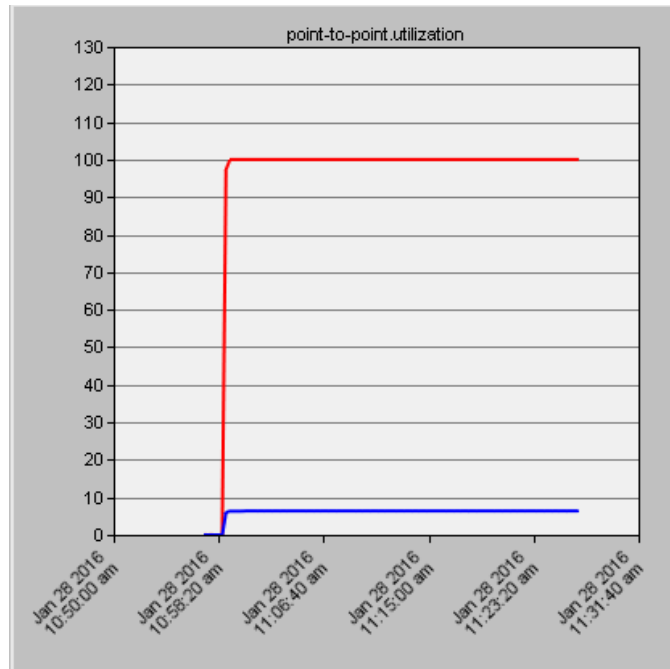


Figura 8.6 – Utilização do enlace entre *DSLAM X modem* e *modem X servidor* para o cenário VDSL

Façamos agora as observações sobre alguns dados obtidos quando realizado o mesmo levantamento de dados mediante simulação em um novo cenário, considerando agora uma arquitetura FTTH rodando sobre GPON com um link SONET OC-48 (STS-48) que possibilita transmissão de 2.5 Gbps. A figura 8.7 apresenta um *screenshot* contendo o término do procedimento da simulação realizada pelo *OPNET® Modeler*.

Assim como avaliado no primeiro cenário, notemos agora a taxa de transmissão registradas para o tráfego de vídeo conferência. Na figura 8.8 visualiza-se que a taxa de transmissão atinge 90 Mbytes por segundo, valor substancialmente maior do que a taxa de transmissão para vídeo conferência de 15 Mbytes por segundo registrada no cenário VDSL.

Além disso, note que o tráfego recebido de dados referentes a vídeo conferência no cenário FTTH atinge os mesmos 90 Mbytes por segundo e

permanecendo esta taxa de recebimento constante, figura 8.9, diferentemente do cenário VDSL que não suportou a transferência de dados ocorrendo perda em praticamente 100% do tráfego enviado, conforme apresentou a figura 8.2.

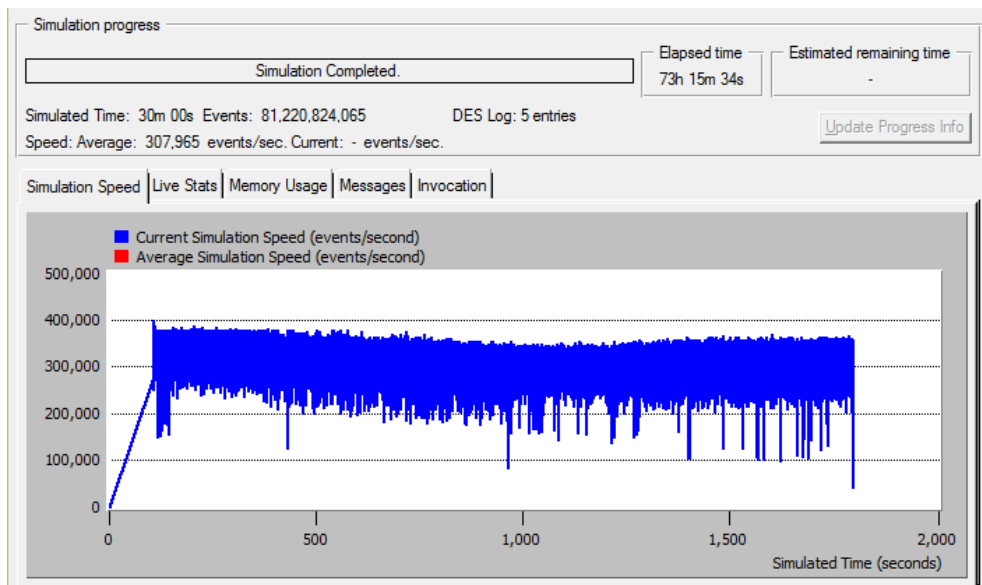


Figura 8.7 – Screenshot OPNET® Modeler do processo de simulação FTTH

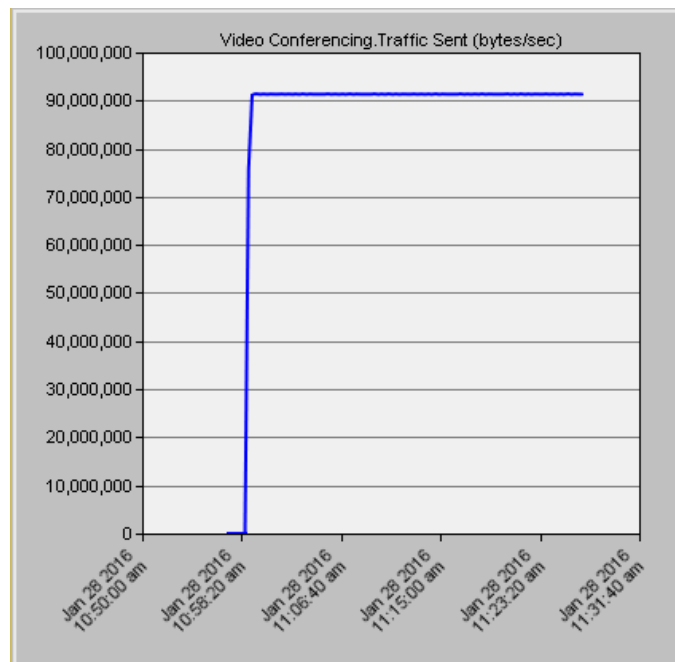


Figura 8.8 – Tráfego global de vídeo conferência enviado no cenário FTTH

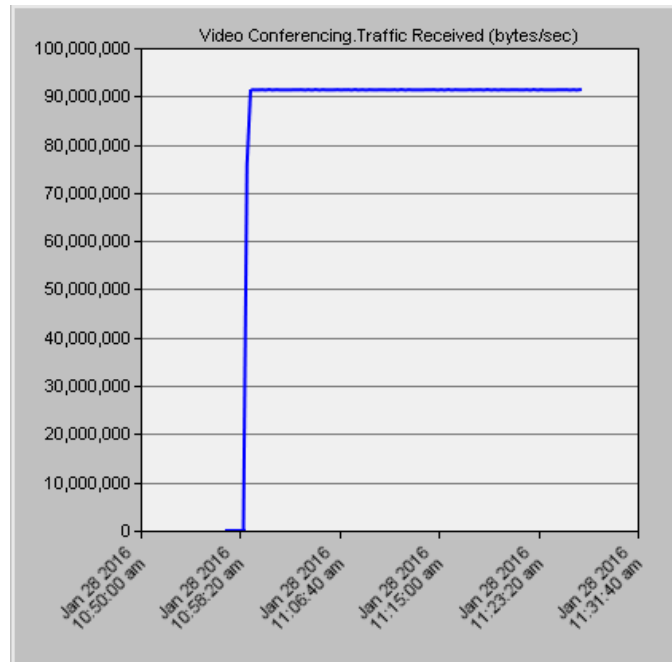


Figura 8.9 – Tráfego global de vídeo conferência recebido no cenário FTTH

Agora observemos a transmissão de voz sobre o cenário FTTH, figura 8.10. Note como a taxa de transmissão e de recebimento atingem o limiar de 100 Mbytes por segundo, denotando a inexistência de parcas. Retomando o cenário VDSL, os valores apresentados foram de 10 kbytes por segundo registrados na transmissão de apenas 7kbytes por segundo registrados na recepção. Denotando perdas relevantes e a inviabilidade de utilização da tecnologia VDSL nas mesmas distâncias asseguradas pela tecnologia PON.

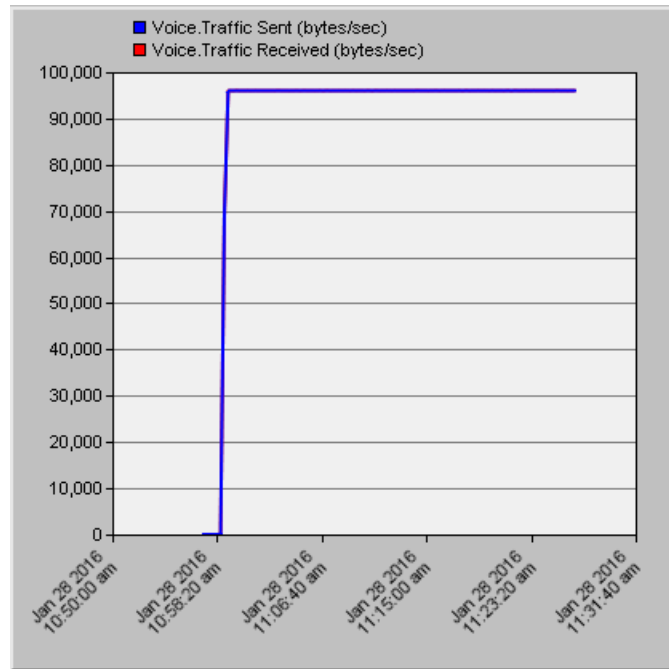


Figura 8.10 – Tráfego global de voz enviado e recibo no cenário FTTH

Façamos um comparativo em gráficos sobrepostos, considerando as informações contidas na tabela 8.5.

Tabela 8.5 – Representação adotada para leitura dos resultados

Tecnologia	Representação gráfica
Cenário FTTH/GPON	linhas azuis
Cenário VDSL/fios de par de cobre	linhas vermelhas

Na figura 8.11 é possível observar o tráfego global de voz recebido com sucesso dado em bytes por segundo. Já na figura 8.12 compara-se o tráfego global de dados relativos a vídeo conferência recebidos com sucesso, também dado em byte por segundos. Da mesma maneira observa-se a diferença na transmissão de dados nos enlaces de fios de par de cobre e nos enlaces ópticos utilizados pela PON no FTTH.

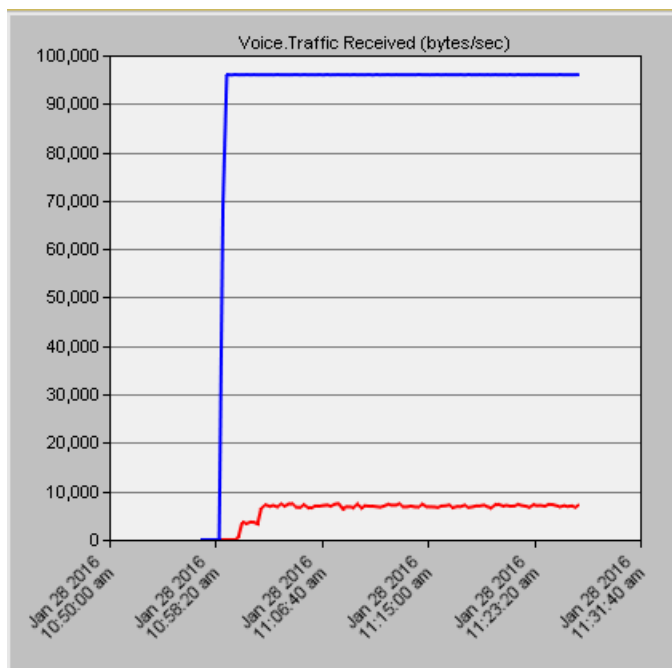


Figura 8.11 – Comparativo de tráfego global de voz recebido nos cenários FTTH (azul) e VDSL (vermelho)

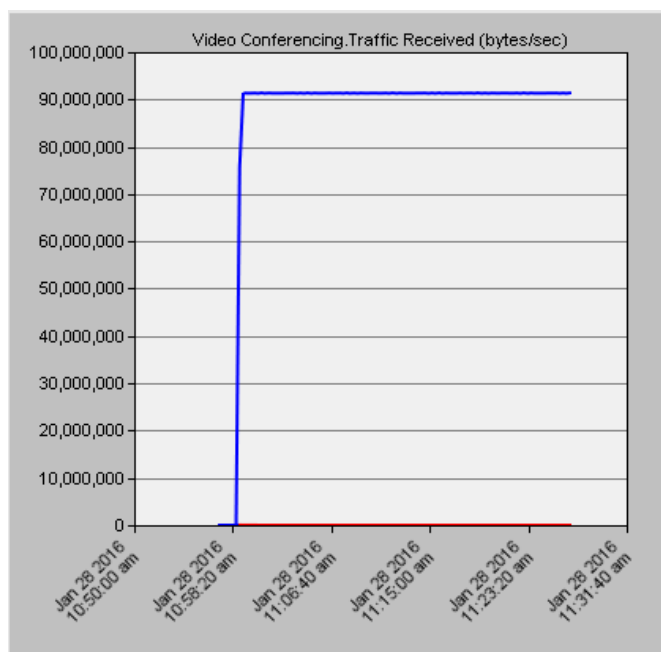


Figura 8.12 – Comparativo de tráfego global de vídeo recebido nos cenários FTTH (azul) e VDSL (vermelho)

Observemos um terceiro cenário, no qual mantem-se o mesmo padrão de perfil de usuários, ou seja, usuários que requerem serviços de vídeo, voz e dados simultaneamente. Uma rede cliente contendo, ao todo, seis estações de trabalho, nas quais 100% de seus usuários possuem as mesmas características de utilização da rede e acessam os serviços *triple-play* ao mesmo tempo.

Entretanto, neste novo cenário, as distâncias entre os modems e os DSLAM são reduzidas a 500 m. O servidor é único. O tráfego analisado se dá em um intervalo de 30 minutos para a simulação (da mesma forma que o utilizado nos dois cenários anteriores). A figura 8.13 apresenta um *screenshot* desta simulação.

Ao verificarmos os gráficos apresentados nas figuras 8.14 e 8.15, notamos que há um aumento de transmissão de dados de vídeo, porém ainda existe grande perda de dados devido ao enlace de fios de par trançado utilizados na rede de acesso.

Da mesma forma verifica-se nas figuras 8.16 e 8.17 que o tráfego de voz também é prejudicado misturado ao tráfego simultâneo de vídeo, voz e dados.

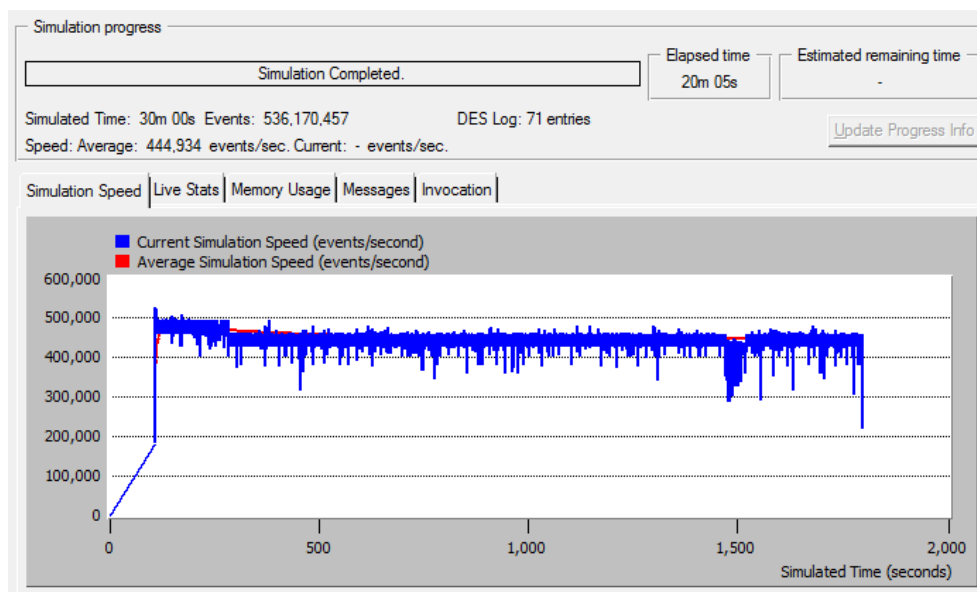


Figura 8.13 – Screenshot OPNET® Modeler do processo de simulação VDSL

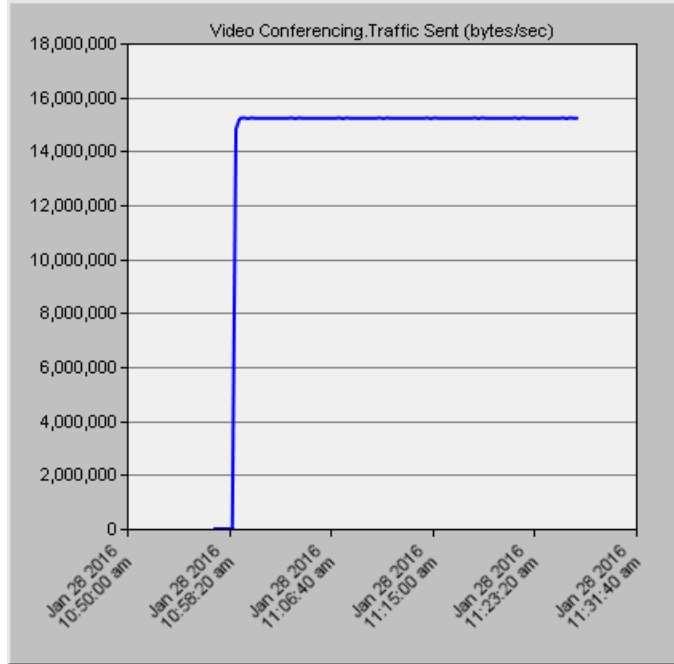


Figura 8.14 – Tráfego global de vídeo conferência transmitido no segundo cenário

VDSL

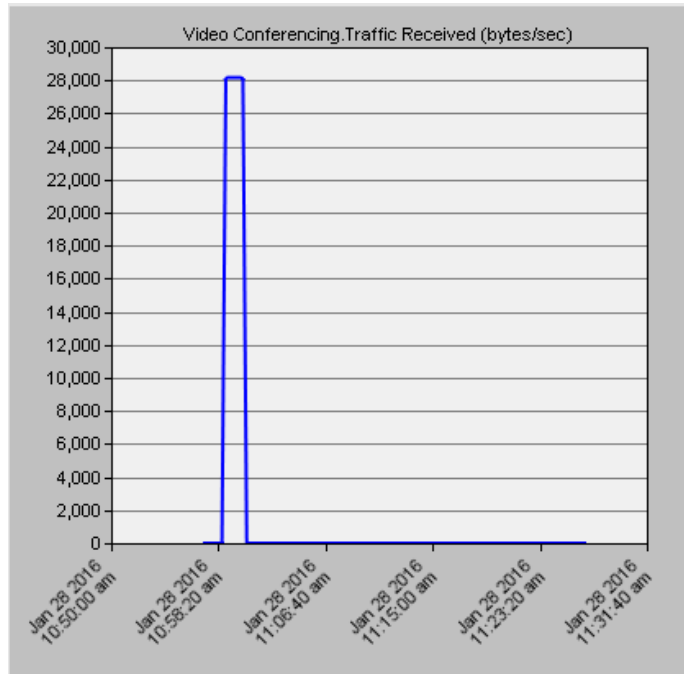


Figura 8.15 – Tráfego global de vídeo conferência recebido no segundo cenário

VDSL

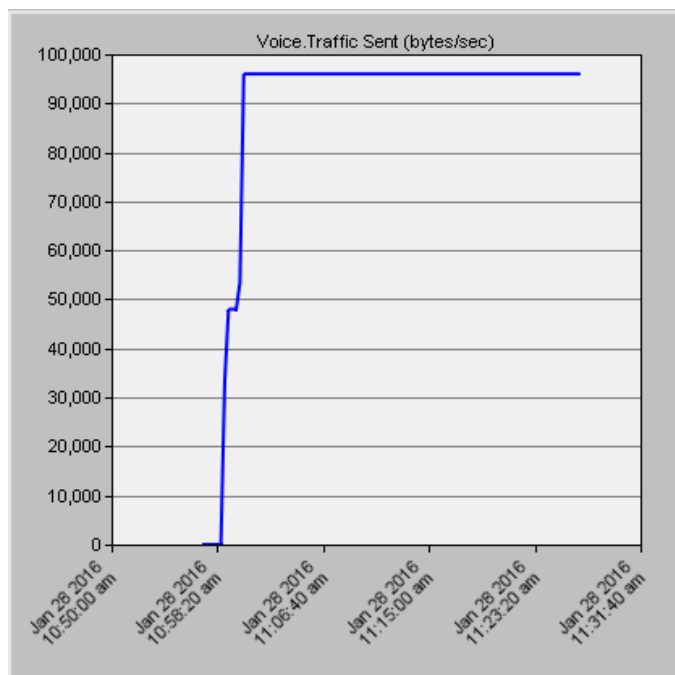


Figura 8.16 – Tráfego global de voz transmitido no segundo cenário VDSL

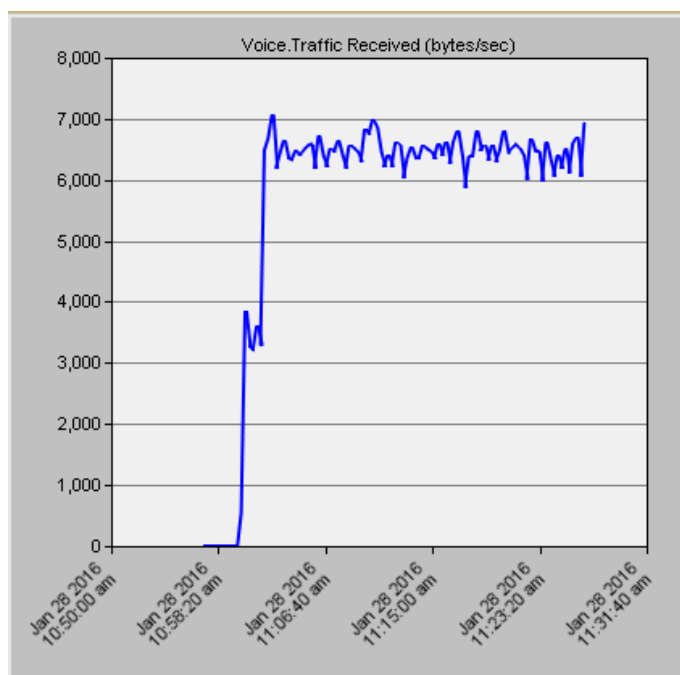


Figura 8.17 – Tráfego global de voz recebido no segundo cenário VDSL

Desta forma evidencia-se diante das simulações realizadas um aumento de banda passante considerável nas redes de acesso proporcionado pela substituição

dos enlaces de fio de par de cobre pelos enlaces ópticos utilizados pelas PONs como suporte a arquitetura FTTH. Não obstante a isso comprova-se a possibilidade do aumento da distância de transmissão entre os dispositivos ativos da rede, ou seja, equipamentos que requerem uso de energia elétrica e gerenciamento operacional por parte das operadoras.

A simulação demonstra, de forma simplista, o quanto pode ser viável considerar a migração dos enlaces diante dos cenários apresentados no presente trabalho em face a crescente demanda de largura de banda nas redes de acesso.

9 CONCLUSÃO

O presente capítulo tem por finalidade apresentar as conclusões gerais obtidas neste estudo, bem como sugestões para possíveis trabalhos futuros.

No capítulo 1 foi apresentada uma contextualização da atual situação de demanda de serviços e necessidade de aumento de banda na Internet. Diante disto ficou evidente a necessidade de desenvolvimento das tecnologias de telecomunicações que propiciem às operadoras arquiteturas adequadas para que estas possam comportar os anseios de seus assinantes.

No capítulo 2 apresentamos conceitos básicos que definiram aspectos relacionadas às tecnologias atualmente empregadas em grande escala pelas operadoras de serviço. Também foram introduzidos conceitos que definem as tecnologias que surgem como solução para resolver o grande problema de gargalo que a Internet se depara atualmente nas redes de acesso. Além de aspectos básicos para melhor contextualização com as redes ópticas passivas.

Nos capítulos 3, 4, 5 e 6 foram apresentados detalhes e características específicas inerentes às *broadband passive optical networks* (BPONs), à *Ethernet in the first mile* (EFM) também conhecida como *Ethernet passive optical networks* (EPONs), às *gigabit-capable passive optical networks* (GPONs) e ao próximo avanço tecnológico das redes de acesso, o qual ainda encontra-se em pesquisa nos laboratórios, as *next-generation passive optical networks* (NG-PONs)

O capítulo 7 lidou com o tema chave deste trabalho, apresentar as arquiteturas FTTH, enfatizando detalhes de implantação da arquitetura *fiber to the home* (FTTH). Além de realizar um apanhado de estudos relacionados ao tema, os quais abordam

questões como custos envolvidos no ciclo de vida de uma rede FTTH a ser implantada.

Por fim, no capítulo 8 foi apresentada a simulação do sistema GPON como suporte a FTTH realizando uma comparação com a tecnologia VDSL largamente empregada pelas operadoras de telecomunicações atualmente.

E como visto, baseando-se em um levantamento bibliográfico sobre pesquisas envolvendo o aumento da demanda de largura de banda nas redes de acesso, o surgimento das novas tecnologias de transporte de dados por meio de enlaces ópticos e mediante simulação dos sistemas GPON/FTTH e VDSL existentes, comprovam-se as vantagens de aumento na banda passante e possibilidade de redução de custos empregados pelas operadoras no que tange à redução de equipamentos ativos nas suas redes de acesso (última milha) e menor necessidade de acompanhamento operacional dos mesmos com a substituição destes pelos divisores ópticos passivos utilizados nas PONs.

Como trabalhos futuros, sugere-se um estudo mais aprofundado sobre o aproveitamento dos diferentes comprimentos de ondas nos enlaces ópticos das PONs com uso de *dense WDM (DWDM)*, *OCDMA* e *OFDMA*, uma vez que, conforme assunto abordado no capítulo 5, o uso de TDMA gera ociosidade no meio óptico em alguns casos particulares, sendo esta uma importante área a ser estudada.

Deve-se considerar também o uso de simuladores ópticos existentes como a ferramenta *VPITransmissionMaker Optical Systems* [33] para proceder uma melhor análise mediante simulação de equipamentos ópticos específicos.

REFERÊNCIAS

- [1] AB-RAHMAN, M. S.; NG. B. B.; JUMARI, K. **Engineering Network Management System for FTTH Access Network**. Spectrum Technology Division, Computer and Network Security Research Group, Department of Electrical, Eletronics and Systems Engineering, Faculty of Engineering and Built Environment, Universiti Kebangsaan Malaysia, Selangor, Malaysia. Journal of Applied Sciences, ISSN 1812-5654, p. 2390-2398, 2009.
- [2] ARMSTRONG, J. **OFDM for optical communications**. Journal of Lightware Technology, Washington, v. 27, n. 3, p. 198-204, fev. 2009.
- [3] CASIER, K.; VERBRUGGE, S.; MEERSMAN R.; COLLE, D.; PICKAVET, M.; DEMEESTER, P. **A clear and balanced view on FTTH deployment costs**. Proceedings of FITCE Congress, Session 06, Paper 02, p. 109-112, 2008.
- [4] CRUZ, A. M. V.; KONOPACKI, M. R. **Redes GPON como solução para FTTH**. Orientador: Valmir de Oliveira. Curitiba, PR, 2014. Trabalho de conclusão de Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações, Departamento Acadêmico de Eletrônica – DAELN, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.
- [5] CISCO. **Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2014-2019 White Paper**. mai 2015. Disponível em: <http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/service-provider/visual-networking-index-vni/index.html>. Acesso em 12 janeiro 2016.
- [6] HACKER, J. **GNU General Public License version 2**. abr 2014. Disponível em: <https://www.gnu.org/licenses/gpl-2.0.html>. Acesso em 23 mai. 2015.
- [7] HAVIC, Z., MIKAC, B. **Economic Model for FTTH Access Network Design**, ISBN 978-3-8007-3348-4, CTE 2011, Berlin, Germany, mai. 2011.
- [8] IEEE Standard 802.3ah-2004. **IEEE Standard for Information technology – Local and metropolitan area networks – Part 3: CSMA/CD Access Method and Physical Layer Specifications Amendment: Media Access Control Parameters, Physical Layers, and Management Parameters for Subscriber Access networks**, Geneva, Switzerland, set. 2004.
- [9] IEEE Standard 802.3av-2009. **IEEE Standard for Information technology – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 3: CSMA/CD Access Method and Physical Layer Specifications Amendment 1: Physical Layer Specifications and Management Parameters for 10 Gb/s Passive Optical Networks**, 2009.
- [10] ITU-T G.567. **Characteristics of a Behind Loss Insensitive Single-Mode Optical Fibre and Cable for the Access Network – Recommendation ITU-T G.567**, Geneva, Switzerland, nov. 2009.

- [11] ITU-T G.983.1. **Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks (PON) – Recommendation ITU-T G.983.1**, Telecommunication standardization sector of ITU, Geneva, Switzerland, jan. 2005.
- [12] ITU-T G.984.1. **Gigabit-Capable Passive Optical Networks (GPON): General Characteristics – Recommendation ITU-T G.984.1**, Telecommunication standardization sector of ITU, Geneva, Switzerland, mar. 2008.
- [13] ITU-T G.984.2. **Gigabit-Capable Passive Optical Networks (GPON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification – Recommendation ITU-T G.984.2**, Telecommunication standardization sector of ITU, Geneva, Switzerland, mar. 2003.
- [14] ITU-T G.984.3. **Gigabit-Capable Passive Optical Networks (G-PON): Transmission convergence layer specification – Recommendation ITU-T G.984.3**, Telecommunication standardization sector of ITU, Geneva, Switzerland, jan. 2014.
- [15] ITU-T G.984.4. **Gigabit-Capable Passive Optical Networks (G-PON): ONT management and control interface specification – Recommendation ITU-T G.984.4**, Telecommunication standardization sector of ITU, Geneva, Switzerland, fev. 2008.
- [16] ITU-T G.987.1. **10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): Definitions, abbreviations and acronyms – Recommendation ITU-T G.987**, Telecommunication standardization sector of ITU, Geneva, Switzerland, jun. 2012.
- [17] JENSEN, M.; NIELSEN, R. H.; MADSEN O. B. **Comparison of Cost for Different Coverage Scenarios between Copper and Fiber Access Networks**. Center of Network Planning, Center for TeleInfrastruktur, Aalborg University, Denmark, ISBN 89-5519-129-4, p. 2015-2018, fev. 2006.
- [18] KAISER, G. **FTTX Concepts and Applications**. 1 ed. New Jersey, 2006.
- [19] KAZOVSKY, L. G.; CHENG N.; SHAW W. T.; GUTIERREZ D.; WONG S. W. **Broadband Optical Access Networks**. 1 ed. New Jersey, 2011.
- [20] KITAYAMA K. I. **Optical Code Division Multiple Access, A Practical Perspective**. 1 ed. New York, 2014.
- [21] KOCHER, D. **Investigation of FTTH Architectures Based on Passive Optical Networks**. Under the Guidance of: Dr. R. S. Kaler; Sr. Professor (ECED) & DEAN (Resource Planning and Generation). Patiala, 2012. Master of Engineering In Electronics and Communication Engineering, Eletronics and Communication Engineering Department, Thapar University, 2012.

- [22] LE, H. N. **FTTH Network Optimization**. Journal of Telecommunications and Information Tchnology, Suntech S.A., Warsaw, Poland, p. 88-99, abr. 2014.
- [23] LEE, C. H.; SORIN, W. V.; KIM, B. Y. **Fiber to the Home Using PON Infrastructure**. Journal of Lightware Technology, Washington, v. 24, n. 12, p. 4568-4583, dec. 2006
- [24] LIN, C. **Broadband Optical Access Networks and Fiber-to-the-Home Systems Technologies and Deployment Strategies**. 1 ed. West Sussex, 2006.
- [25] MORIMOTO, C. E. **Redes, guia prático**, 3.ed. Porto Alegre, RS, 2011.
- [26] MOURA, A. K. **Redes de Acesso: o futuro do cabo de cobre e a era da fibra óptica**. Orientador: Alexandre Jorge Miziara. Curitiba, PR, 2013. Trabalho de conclusão de Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações, Departamento Acadêmico de Eletrônica – DAELN, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.
- [27] SEGARRA, J.; SALES, V.; PRAT, J. **Planning and Designing FTTH Networks: Elements, Tools and Pratical Issues**. Universitat Politècnica de Catalunya, Jordi Girona, 1-3, E-08034 Barcelona, Spain. ICTON 2012. 978-1-4673-2229-4/12. IEEE 2012.
- [28] SEIMETZ, M. **High-order modulation for optical fiber transmission**. Berlin:Springer. 2009.
- [29] SHI, Y; DING, F.; CHEN, T. **Multirate Crosstalk Identification in xDSL Systems**. IEEE Transactions on Communications, v. 54, n. 10, p. 1878-1886, out. 2006.
- [30] TANEMBAUM, A. S.; WATHERALL, D. **Redes de Computadores**. 5 ed. São Paulo, SP. 2011. 94p.
- [31] YARALI, A; CHERRY, A. **Internet Protocol Television (IPTV)**. Proceedings of the TENCON 2005 - IEEE International Region 10 Conference, p.1–6, 2007.
- [32] **OPNET is now part of Riverb stell central. Get end-to-end perspective of your application and network performace**. Disponível em: <http://www.riverbed.com/products/steelcentral/OPNET.html?redirect=OPNET>. Acesso em 12 janeiro 2016.
- [33] **Riverbed to Acquire OPNET Tchnologies, Inc**. out. 2012. Disponível em: <http://www.riverbed.com/about/news-articles/press-releases/riverbed-to-acquire-OPNET-technologies-inc.html>. Acesso em 12 janeiro 2016.
- [34] VPIphotonics design automation. **VPItransmissionMaker™ Optical Systems**. Disponível em: <http://www.vpiphotonics.com/Tools/OpticalSystems/>. Acesso em 12 dezembro 2015.