



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE CARAÚBAS
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ESDRAS ANTONIO DE MENESES FILHO

DIMENSIONAMENTO DE UMA REDE DE FIBRA ÓPTICA PON FTTH

CARAÚBAS - RN
2018

ESDRAS ANTONIO DE MENESES FILHO

DIMENSIONAMENTO DE UMA REDE DE FIBRA ÓPTICA FTTH PON

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador (a): Dr. Rodrigo Prado de Medeiros.

APROVADO EM: 13/09/2018

Assinatura dos membros da Banca Examinadora.



Prof. Dr. Rodrigo Prado de Medeiros
Presidente



Prof. Me. Juan Rafael Filgueira Guerra – Membro



Profa. Dra. Tania Luna Laura – Membro

CARAÚBAS - RN
2018

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei n° 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei n° 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

M543d Meneses Filho, Esdras Antonio de.
DIMENSIONAMENTO DE UMA REDE DE FIBRA ÓPTICA PON
FTTH / Esdras Antonio de Meneses Filho. - 2018.
91 f. : il.

Orientador: Rodrigo Prado de Medeiros.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Elétrica, 2018.

1. Internet. 2. Fibra óptica. 3. PON. 4. FTTH.
5. Rede de acesso. I. Medeiros, Rodrigo Prado de
, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

*À minha mãe, Maria Olinda, por todo seu
carinho, amor, atenção, dedicação e incentivo
dados em todos os momentos da minha vida.*

AGRADECIMENTOS

Àquele Deus maior que todos os homens, que sempre abriu meus olhos para as adversidades que surgem, me ensinando a vencer obstáculos e aceitar minha própria condição e natureza humana.

À minha mãe, Maria Olinda, por ser essa guerreira que, mesmo sozinha, durante quase toda minha vida até o presente dia, foi capaz de me dar a melhor formação ao seu alcance, seja pessoal ou acadêmica.

À minha namorada Débora Nayara, por toda amizade, companheirismo, carinho e atenção, me ajudando nos momentos de dificuldade que acometeram a realização do presente trabalho.

Ao meu orientador e amigo Rodrigo Prado, com quem tive a honra e orgulho de trabalhar. Agradeço não só pela paciência, dedicação e confiança a mim depositada, mas por todos os conselhos sinceros, que muito me ensinaram profissionalmente e pessoalmente.

Aos meus amigos Felipe Augusto, Alefjohn Amorim, Anderson Fernandes, José Garibaldi, Alan Edson, Gonçalo Machado e Lisandro Luís que sempre estiveram ao meu lado não só na faculdade como também na vida.

Aos meus amigos da Líder NET, que me auxiliaram e tiraram dúvidas pertinente ao assunto durante o tempo de escrita deste TCC e durante o período de estágio.

À todas aquelas pessoas que mesmo não citando, contribuíram significativamente na minha formação pessoal e profissional.

“Deixem que o futuro diga a verdade e avalie cada um de acordo com o seu trabalho e realizações. O presente pertence a eles, mas o futuro pelo qual eu sempre trabalhei pertence a mim.”

(Nikola Tesla)

RESUMO

Nos últimos anos, tem-se observado um aumento considerável no consumo de *internet*, em grande parte, como consequência de *sites* de compartilhamento/reprodução e *streaming* de vídeos em resoluções de vídeo em FULL HD, 2K ou 4K. Dessa maneira, a oferta de planos com largura de banda maior tornou-se necessária para que o consumidor seja capaz de consumir conteúdos com grandes taxas de transferência de dados. A utilização de fibra óptica em redes de acesso à *internet* revolucionou a forma de consumo, pois as taxas de transferências de dados obtidos a partir da fibra óptica, são bastante superiores em relação a outras tecnologias, como por exemplo, distribuição de *internet* via cabo coaxial e via rádio. Outras vantagens incluem baixa perda de sinal, baixa manutenção da rede, maior segurança, menor consumo de energia, leveza e características não-inflamáveis. Para o projeto de uma rede óptica são necessários diversos conhecimentos, desde a tecnologia utilizada nos equipamentos à melhor maneira de utilizar estes equipamentos na construção da rede óptica. Durante a concepção da rede, é necessário definir qual tipo de rede óptica será utilizada. Existem dois tipos de redes de acesso com fibra óptica: as redes ópticas ativas (AON) e as passivas (PON). As redes ópticas do tipo PON são bem mais utilizadas, pois exigem energia elétrica apenas nas extremidades da rede, fonte e consumidor, reduzindo os custos de manutenção e futuros problemas da rede. Outro critério que deve ser levado em consideração é a proximidade da fibra óptica em relação ao ponto de atendimento. Para uma rede FTTH (*Fiber-to-the-home*), por exemplo, a fibra óptica vai até a casa do cliente. Neste trabalho, escolheu-se projetar uma rede de fibra óptica PON FTTH. O projeto de uma rede PON FTTH apresenta várias fases, como a escolha do local de construção, taxa de penetração, posicionamento das caixas CTO (caixa de terminação óptica) e CDO (caixa de distribuição óptica) e o posicionamento das rotas primária e secundária, por exemplo. Calculou-se o consumo médio de banda por residência. Foi analisado qual tipo de tecnologia de acesso múltiplo possui o melhor custo-benefício. Além disso, a rede óptica foi projetada de maneira a possuir um *power budget* com uma boa margem de segurança, prevenindo que a rede possa ter problemas de atenuação ou perda de sinal.

Palavras-chave: *Internet*, fibra óptica, PON, AON, FTTH, CTO, CDO.

ABSTRACT

In the last years, there has been a considerable increase in internet consumption, mostly due to sharing / playback sites and video streaming at video resolutions in FULL HD, 2K or 4K. Therefore, the provision of plans with greater bandwidth became necessary for the consumer to be able to consume contents with high rates of data transfer. The use of fiber optical in internet access networks has revolutionized the way of consumption, since the rates of data transfer obtained from fiber optic are very superior to other technologies, such as internet distribution via coaxial cable and via radio. Other advantages include low signal loss, low network maintenance, increased safety, lower power consumption, lightness and non-flammable characteristics. For the design of an optical network it is necessary to have different knowledges, from the technology used in the equipment to the best way to use these equipment in the construction of the optical network. During the design of the network, it is necessary to define which type of optical network will be used. There are two types of fiber optic access networks: active optical (AON) and passive (PON) networks. Optical networks of the PON type are much more used because they require electrical power only at the ends of the network, source and consumer, reducing maintenance costs and future network problems. Another criterion that must be considered is the proximity of the optical fiber to the point of service. For an FTTH (*Fiber-to-the-home*) network, for example, the optical fiber goes to the client's home. In this work, we chose to design a PON FTTH fiber optic network. The design of a PON FTTH network has several phases, such as the choice of construction site, penetration rate, positioning of optical termination box (OTB) and optical distribution box (ODB), and the positioning of primary and secondary routes, for example. The average bandwidth consumption per residence was calculated. It was analyzed which type of multiple access technology has the best cost-benefit. In addition, the optical network was designed to have a power budget with a good margin of safety, preventing the network from having problems of attenuation or loss of signal.

Key words: Internet, optical fiber, PON, AON, FTTH, OTB, ODB.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Principais partes de uma rede de telecomunicações.	21
Figura 2 – Soluções tecnológicas na rede de acesso.	22
Figura 3 – Velocidades recomendadas de conexão.	24
Figura 4 – Espectro de radiação eletromagnética.	26
Figura 5 – Esquema da estrutura de uma fibra óptica convencional de sílica. Uma capa de plástico é geralmente utilizada para servir de encapsulamento.	27
Figura 6 – Comparação entre as fibras ópticas convencionais monomodo e multimodo com índice-degrau e índice-gradual.	27
Figura 7 – Componentes de uma rede PON	30
Figura 8 – OLT PON AN5516-04 da <i>FiberHome</i>	32
Figura 9 – ONU fabricada pela <i>FiberHome</i>	33
Figura 10 – Tráfego no sentido <i>downtream</i>	33
Figura 11 – Tráfego no sentido <i>upstream</i>	34
Figura 12 – Redes P2P (ponto-a-ponto) e P2MP (ponto-a-multiponto).....	34
Figura 13 – Graus de Penetração de uma rede óptica (FTTx).	36
Figura 14 – Topologia de rede em anel.	37
Figura 15 – Topologia de rede em barramento.....	38
Figura 16 – Topologia de rede em árvore.....	38
Figura 17 – Topologia de rede em estrela.	39
Figura 18 – Faixas de operação APON/BPON.	41
Figura 19 – Rede EPON	42
Figura 20 – Rede GPON.....	43
Figura 21 – Faixas de comprimento de onda EPON/10G-EPON.	45
Figura 22 – Faixas de comprimento de onda GPON/10G-PON.	46
Figura 23 – Exemplo de Rede óptica híbrida WDM/TDM.	49
Figura 24 – Emenda mecânica.....	49
Figura 25 – Emenda por Acoplamento de conectores.	50
Figura 26 – Máquina de fusão	50
Figura 27 – Alguns tipos de adaptadores.....	51
Figura 28 – Seis tipos de conectores de fibra óptica, características e aplicações.	51
Figura 29 – <i>Patch cord / pigtails</i>	52

Figura 30 – Alguns tipos de atenuadores.....	52
Figura 31 – Filtro óptico.....	53
Figura 32 – <i>Splitter</i> óptico 1/64.....	53
Figura 33 – Acoplador WDM.....	54
Figura 34 – Distribuidor ótico em formato de <i>rack</i> (à esquerda) e distribuidor ótico instalado em parede (à direita).	54
Figura 35 – Caixa de Distribuição Óptica (CDO).	55
Figura 36 – Caixa de Terminação Óptica (CTO).	55
Figura 37 – Estrutura de um cabo de fibra óptica genérico.....	56
Figura 38 – Cabo tipo <i>Loose tube buffer</i>	57
Figura 39 – Cabo tipo <i>Tight buffer</i>	57
Figura 40 – Cabo tipo <i>Groove</i>	58
Figura 41 – Cabo tipo <i>Ribbon</i>	58
Figura 42 – Cabo tipo armado.	59
Figura 43 – Cabo tipo auto-suportado.	59
Figura 44 – <i>Link Power Budget</i> (à esquerda) vs <i>Link Loss Budget</i> (à direita).	60
Figura 45 – Dimensionamento do <i>power budget</i> de uma PON.....	63
Figura 46 – Ilustração da distribuição das vias e dos bairros da cidade de Caraúbas/RN.....	65
Figura 47 – Projeto FTTH esquematizado.	66
Figura 48 – <i>DIO Fit</i>	67
Figura 49 – <i>Rack</i> para servidor S8512B.	67
Figura 50 – Identificação das fibras ópticas.	68
Figura 51 – Características físicas dos cabos de acordo o tamanho máximo do vão e número de fibras ópticas.....	68
Figura 52 – a) Caixa CDO e b) Caixa CTO.	69
Figura 53 – Características cabo <i>drop Overtek</i>	69
Figura 54 – ONU AN5506-04-F.	70
Figura 55 – Cobertura da rede óptica.	71
Figura 56 – Demonstração da razão de divisão dos <i>splitters</i>	73
Figura 57 – Demonstração da razão de divisão dos <i>splitters</i> no futuro.....	73
Figura 58 – Posicionamento das Caixas CTO e CDO.....	75
Figura 59 – Rota primária e secundária mal posicionadas.	76
Figura 60 – Rota primária e secundária bem posicionas.	77

Figura 61 – Identificação do poste.	77
Figura 62 – Localização do provedor de <i>internet</i>	78
Figura 63 – Distribuição dos pontos de atendimento já cadastrados na região.	79
Figura 64 – Distribuição e alcance de cada caixa de terminação óptica (CTO).	80
Figura 65 – Distribuição e alcance de cada caixa de distribuição óptica (CDO).	81
Figura 66 – Desenho da rota secundária entre as caixas CTOs e CDOs (linhas pretas).	82
Figura 67 – Desenho da rota primária (em vermelho) nos locais com maior densidade de pontos de atendimento.	82
Figura 68 – Desenho da rota secundária entre a rede primária e as caixas CDOs restantes. ...	83
Figura 69 – Desenho da rota primária e secundária finalizados.	83
Figura 70 – Desenho da rede óptica com demonstração dos pontos de atendimento e alcance das caixas CTO.	84
Figura 71 – Método de conexão e distribuição de fibras ópticas entre as CDOs e CTOs.	85
Figura 72 – Utilização de cada CDO projetada.	85
Figura 73 – Esquema de conexão de cada ponto da rede óptica.	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Diferenças entre tecnologias de rede de acesso.	23
Tabela 2 – Banda de internet mínima para uma casa de 4 pessoas.	24
Tabela 3 – Tráfego de <i>internet</i> do consumidor.....	25
Tabela 4 – Datas importantes das tecnologias óticas de redes de acesso.	40
Tabela 5 – BPON <i>downstream/upstream</i> combinações.	42
Tabela 6 – Recomendações da Norma ITU-T Gpon G.984.	44
Tabela 7 – Principais características das redes APON/BPON, EPON e GPON.	47
Tabela 8 – Vantagem e desvantagens – tecnologias de acesso múltiplo – redes PON.	48
Tabela 9 – Valores típicos do <i>Power Budget</i>	60
Tabela 10 – Atenuações de <i>splitters</i>	61
Tabela 11 – <i>Power budget</i> das várias classes para BPON e GPON.	62
Tabela 12 – Algumas características da OLT AN5516-05.....	66
Tabela 13 – Características de perda potência do cabo G.652D monomodo.	68
Tabela 14 – Pontos de atendimento em função da taxa de penetração.....	72

LISTA DE ABREVIATURAS

10G-EPON	<i>10 Gigabit - Ethernet Passive Optical Network</i>
10G-PON	<i>10 Gigabit Passive Optical Network</i>
ADSL	<i>Asymmetrical Digital Subscriber Line</i>
AON	<i>Active Optical Network</i>
APON	<i>ATM Passive Optical Network</i>
BPON	<i>Broadband Passive Optical Network</i>
CDO	<i>Caixa de distribuição óptica</i>
CO	<i>Central Office</i>
CPE	<i>Customer Premises Equipment</i>
CTO	<i>Caixa de terminação óptica</i>
dB	<i>Decibel</i>
DIO	<i>Distribuidor óptico</i>
DN	<i>Distribution Network</i>
EPON	<i>Ethernet Passive Optical Network</i>
FTTB	<i>Fiber-to-the-building</i>
FTTC	<i>Fiber-to-the-curb</i>
FTTCab	<i>Fiber-to-the-cabinet</i>
FTTH	<i>Fiber-to-the-home</i>
FTTN	<i>Fiber-to-the-node</i>
FTTX	<i>Fiber-to-the-X</i>
FULL HD	<i>Full high definition</i>
GPON	<i>Gigabit Passive Optical Network</i>
HD	<i>High definition</i>
ISDN	<i>Integrated Services Digital Network</i>
LAN	<i>Local area network</i>
LED	<i>Light-emitting diode</i>
LLB	<i>Link Loss Budget</i>
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
MM	<i>Multi-Mode</i>
OCDMA	<i>Optical code-division multiple-access system</i>
ODN	<i>Optical Distribution Network</i>

OLT	<i>Optical line terminal</i>
ONT	<i>Optical network terminal</i>
ONU	<i>Optical network unit</i>
P2MP	<i>Point-to-multipoint communication</i>
P2P	<i>Peer-to-peer</i>
PC	<i>Personal Computer</i>
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
PON	<i>Passive Optical Network</i>
PTSN	<i>Public switched telephone network</i>
SCMA	<i>Subcarrier division multiple access</i>
SM	<i>Single Mode</i>
TDM	<i>Time-division multiplexing</i>
TDMA	<i>Time-division multiple access</i>
WDM	<i>Wavelength-division multiplexing</i>
WDMA	<i>Wavelength division multiple access</i>
xDSL	<i>X Digital Subscriber Line</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

α_λ	Atenuação da fibra óptica que depende de seu comprimento (dB/km)
L	Comprimento da fibra óptica (km)
n	Fator multiplicativo
C	Perda por conectores
S	Perda por <i>splitters</i>
J	Perdas por fusão da fibra óptica
W	Perdas por cada WDM <i>coupler</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
1.1. MOTIVAÇÃO	19
1.2. OBJETIVOS	19
1.2.1. Objetivo Geral.....	19
1.2.2. Objetivos Específicos	19
1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	20
2. REDE DE ACESSO.....	21
2.1. DIFERENÇAS ENTRE AS TECNOLOGIAS DE REDE DE ACESSO.....	22
2.1.1. Necessidade de <i>internet</i> de alta velocidade	24
2.1.2. Considerações econômicas.....	25
2.2. FIBRA ÓPTICA	26
2.2.1. Tipos de fibra óptica	27
2.2.2. Materiais de fibra óptica	29
3. REDES ÓPTICAS	30
3.1. REDE DE ACESSO ÓPTICA	30
3.1.1. Arquitetura das redes PON.....	30
3.1.1.1. OLT (<i>Optical Line Terminal</i>)	30
3.1.1.2. ONx (ONU/ONT)	32
3.1.1.3. Divisor de potência (<i>splitter</i>)	33
3.1.2. Rede óptica ativa (AON).....	34
3.1.3. Rede óptica passiva (PON)	35
3.1.4. Graus de penetração da fibra óptica (FTTx)	35
3.1.4.1. FTTN/FTTCab.....	35
3.1.4.2. FTTC	35
3.1.4.3. FTTB	36
3.1.4.4. FTTH.....	36
3.1.5. Topologia das redes PON	37
3.1.5.1. Topologia em anel.....	37
3.1.5.2. Topologia em barramento.....	37
3.1.5.3. Topologia em árvore	38
3.1.5.4. Topologia em estrela	39
3.2. TÉCNICAS DE ACESSO MÚLTIPLO.....	39
3.2.1. TDMA (TDM-PON).....	39
3.2.1.1. APON	40
3.2.1.2. BPON	41

3.2.1.3. EPON	42
3.2.1.4. GPON	43
3.2.1.5. 10G-EPON.....	44
3.2.1.6. 10G-PON.....	45
3.2.2. Esquemas híbridos	48
3.3. ELEMENTOS DE UMA REDE ÓPTICA PON	49
3.3.1. Elementos Ativos.....	49
3.3.2. Elementos Passivos.....	49
3.3.2.1. Emendas	49
3.3.2.2. Adaptadores, conectores, <i>pigtails</i>	51
3.3.2.3. Atenuadores ópticos	52
3.3.2.4. Filtros ópticos	52
3.3.2.5. Divisores de potência (<i>splitters</i>)	53
3.3.2.6. Acoplador WDM	53
3.3.2.7. Caixa de terminação ou distribuidor óptico (DIO)	54
3.3.2.8. Caixa de Distribuição Óptica (CDO)	54
3.3.2.9. Caixa de Terminação Óptico (CTO)	55
3.3.2.10. Cabos de fibra óptica.....	55
3.3.2.11. Tipos de cabos de fibra óptica	56
3.4. <i>POWER BUDGET</i>	59
3.4.1. Perda dos componentes passivos.....	60
3.4.2. Dimensionamento de uma rede PON.....	61
4. PROJETO DA REDE PON	64
4.1. DEFINIÇÕES INICIAIS DO PROJETO	64
4.1.1. Área de cobertura da rede.....	64
4.1.2. Esquematização e definição dos principais equipamentos da rede óptica	64
4.2. PROJETO DA REDE PON	70
4.2.1. Definição do <i>node</i> de atendimento	70
4.2.2. Definição da largura de banda	71
4.2.3. Definição da taxa de penetração	72
4.2.4. Definição do <i>Split Rate</i>	72
4.2.5. Cálculo do <i>power budget</i>	73
4.2.6. Posicionamento das Caixas CTOs e CDOs.....	74
4.2.7. Desenho das rotas primária e secundária.....	75
4.2.8. Postejamento.....	77
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	78
5.1. DESENHO DA REDE PON.....	78

5.2. CONEXÕES INTERNAS À REDE PON	84
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	87
REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	88

1. INTRODUÇÃO

Desde os tempos mais remotos, as pessoas possuem uma necessidade natural de comunicar-se com as outras. Tal necessidade criou um interesse no desenvolvimento de sistemas de comunicação para enviar mensagens de um local distante a outro. Segundo Leiner (1997), o primeiro registro de interações sociais que poderiam ser ativadas através de uma rede era uma série de memorandos escritos por Licklider do MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) em agosto de 1962, o qual discute seu conceito de “Rede Galáctica”, imaginando um conjunto globalmente interconectado de computadores através da quais todos pudessem acessar rapidamente dados e programas de qualquer site.

A partir disso, muitas tecnologias de acesso à internet foram lançadas no mercado, tais como: acesso discado, acesso ADSL (*Asymmetrical Digital Subscriber Line*), acesso por cabo modem, acesso dedicado, acesso via rádio, acesso via satélite, acesso móvel, acesso misto e acesso via fibra óptica (BERNAL FILHO, 2013).

As redes de fibra óptica podem ser do tipo ativas (AON - *Active Optical Network*) ou passivas (PON - *Passive Optical Network*). Em uma rede ativa, é necessário utilizar *switches* alimentados eletricamente para gerir a distribuição do sinal enviado da fonte para o consumidor determinado. Em uma rede passiva, em vez da presença desses *switches* são usados *splitters* que dividem os sinais originados da fonte por toda a rede. A rede passiva exige energia elétrica apenas nas extremidades da rede: fonte e consumidor. Enquanto na rede ativa em toda a rede são necessárias fontes de alimentação (RODRIGUES, 2013).

Hoje em dia, ao dimensionar redes de acesso de fibra óptica baseadas nas premissas FTTx, com tecnologias como a GPON ou a EPON, é importante ponderar os aspectos práticos e limitações das suas implementações, como: opções arquiteturais, limitações de desempenho de equipamentos (passivos ou ativos) nos diferentes segmentos da rede, planos de instalação e até mesmo o comportamento dos mercados podem levar a uma capacidade limitada da rede. Sendo assim é preciso continuar o processo de evolução nas infraestruturas e tecnologias que levem a superar estas limitações.

Ao projetar uma rede PON deve-se levar em consideração diversas variáveis, tais como: melhores rotas para os cabos de fibra óptica, perda de sinal óptico em alguns trechos da rede, quantidade de *splitters* e diversas outras variáveis que podem contribuir para que o seu sinal de internet seja comprometido.

1.1. MOTIVAÇÃO

Segundo Dino (2017), é estimado que em até 2020 cerca de 50 bilhões de dispositivos estejam conectados à internet. Em consequência do aumento do número de dispositivos e da evolução das tecnologias presentes nestes dispositivos, tem-se observado um aumento considerável no consumo de internet (CISCO, 2017). Dessa maneira, redes de acesso com altas capacidades de transmissão de dados são requeridas para atender essa crescente demanda.

As tecnologias de acesso à internet antecessoras à fibra óptica possuem grandes fatores limitantes, como sua velocidade reduzida (devido aos cabos e equipamentos) e instabilidades na rede, por exemplo. Enquanto que a fibra óptica possui apenas uma limitação, a qual está presente em todas as outras tecnologias, que são os equipamentos de envio e recebimento de dados. Por exemplo, existem redes de fibra óptica que chegam a velocidades de 100 Gbps, a qual não pode atingir valores maiores devido a limitação dos equipamentos (TARANTOLA, 2014).

De acordo com Muller (2016), as redes PON possuem alta largura de banda, são fáceis de gerenciar e instalar, além de serem altamente escaláveis e com alta densidade de penetração. As redes PON estão substituindo as redes que possuem outras tecnologias em todo o mundo. Sendo assim, o profissional capaz de projetar e realizar a manutenção de redes PON conseguirá um amplo espaço no mercado de trabalho.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

Desenvolver um projeto de uma rede/enlace de fibra óptica FTTH PON em uma região da cidade de Caraúbas – RN.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Pesquisar redes PON, técnicas de projeto de redes PON e também sobre fibra óptica;
 - Realizar o cálculo de *power budget*;
 - Definir a banda necessária para suprir a rede na cidade de Caraúbas – RN;
 - Conhecer todos os elementos constituintes de uma rede PON;
-

- Conhecer as tecnologias de acesso múltiplo de uma rede óptica;
- Realizar o correto posicionamento das caixas de terminação óptica (CTO) e de distribuição óptica (CDO);
- Realizar o desenho das redes primária e secundária usando o *software Google Earth Pro*.

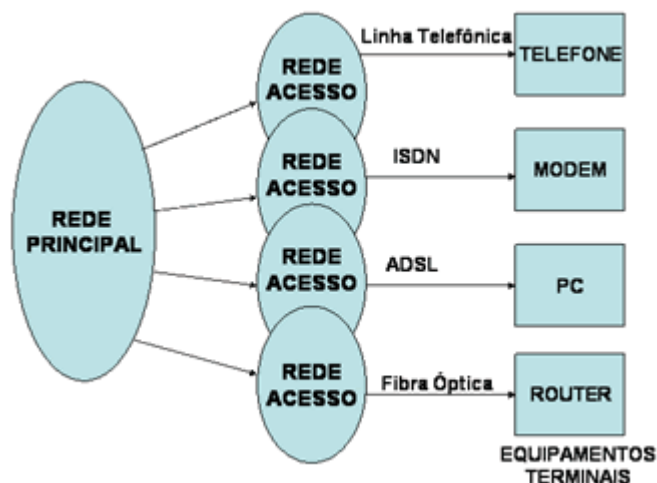
1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

- Capítulo 1 – Introdução: Este capítulo apresenta uma introdução sobre o tema, a motivação do trabalho e os objetivos a serem alcançados;
 - Capítulo 2 – Rede de acesso: Este capítulo realiza uma pesquisa bibliográfica sobre os tipos de redes de acesso, considerações econômicas e sobre fibra óptica;
 - Capítulo 3 – Rede óptica: Este capítulo realiza uma pesquisa bibliográfica sobre a rede de acesso óptica, técnicas de acesso múltiplo, elementos de uma rede PON e também sobre *power budget*;
 - Capítulo 4 – Projeto da rede PON: Neste capítulo realiza-se o projeto da rede PON;
 - Capítulo 5 – Resultados e Discussões: Este capítulo apresenta os resultados e discussões passo a passo da rede óptica projetada no capítulo quatro;
 - Capítulo 6 – Considerações Finais: Este capítulo apresenta as considerações finais obtidas a partir dos resultados alcançados do projeto de uma rede PON;
 - Referencial Bibliográfico: Neste capítulo são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas durante este trabalho.
-

2. REDE DE ACESSO

De acordo com Eler (2015), uma rede de telecomunicações é constituída por uma rede principal, rede de acesso e os equipamentos terminais, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Principais partes de uma rede de telecomunicações.

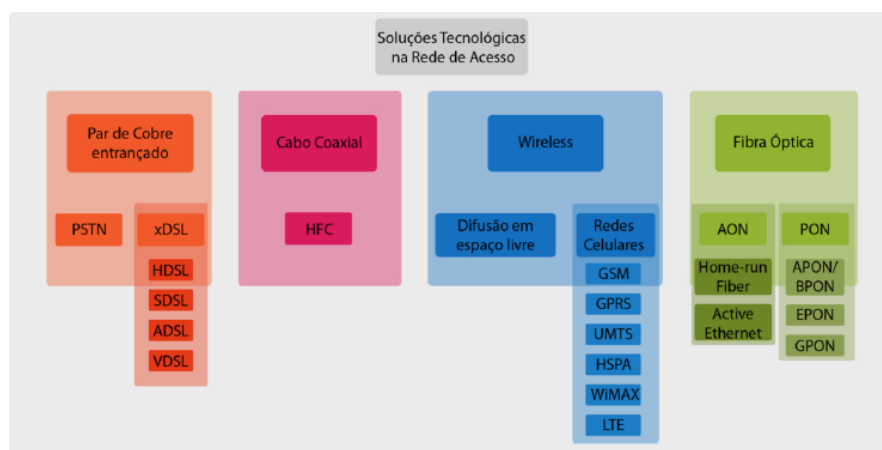


Fonte: ELER, 2015.

Outras denominações para as partes de uma rede de telecomunicações (Figura 1) são: escritório central/rede *core/nuclear* (CO: *Central Office*), rede de distribuição/acesso (DN: *Distribution Network*) e os equipamentos nas instalações do cliente (CPE: *Customer Premises Equipment*), em substituição as três partes anteriores respectivamente.

A CO é formada pelos equipamentos centrais, do núcleo da rede, normalmente presentes nas empresas prestadoras de serviço de Telecomunicações. A rede de acesso (DN) é formada por todos os meios de transmissão que interligam a CO e o usuário final (CPE) como ilustrado na Figura 2. Fazem parte deste item, as linhas ISDN (*Integrated Services Digital Network*), ADSL, Sistemas Wireless, Linhas Telefônicas, Sistemas PLC, redes ópticas (ODN - *Optical Distribution Network*) etc. Os CPEs realizam a interface final entre o usuário e o sistema de telecomunicações responsável pela prestação do serviço. Como por exemplo: telefones, computadores (PCs) ou roteadores.

Figura 2 – Soluções tecnológicas na rede de acesso.



Fonte: LOPES, 2011.

De acordo com Lopes (2011), existem fundamentalmente quatro tipos principais de meios físicos de transmissão nas redes de acesso:

- Par entrançado de cobre: Pares de cobre entrançados, usadas por exemplo em redes telefônicas (PTSN - *Public switched telephone network*) e redes xDSL (*Digital Subscriber Line*);
- Cabo coaxial: É constituído por um fio de cobre condutor revestido por um material isolante e rodeado de uma blindagem. Inicialmente construído para a transmissão de televisão, rapidamente evoluiu para a transmissão de dados e voz;
- Wireless: Consiste na transferência de dados e informações sem a utilização de cabos. Utilizada em tecnologias rádio e é encontrada em redes telefônicas móveis;
 - Difusão em espaço livre: transmissões em broadcast de rádio ou TV;
- Fibra óptica: Inicialmente era utilizada na rede *core*, para transmissões de alta velocidade. A fibra óptica será melhor abordada na seção 2.2.

2.1. DIFERENÇAS ENTRE AS TECNOLOGIAS DE REDE DE ACESSO

Na indústria, existem algumas diferenças entre os tipos de rede de acesso (Tabela 1). Por exemplo, a *internet* discada (*dial-up*) fornece uma conexão de até 56 Kbps enquanto que a *internet* via *satellite* fornece uma conexão de 512 Kbps, claro que deve ser levado em consideração que estas tecnologias citadas anteriormente são muito mais antigas que a fibra óptica utilizada em telecomunicações.

Ao observar a Tabela 1, entende-se a fibra óptica é a melhor escolha em termos de velocidade de *internet* em relação às outras tecnologias, pois até agora não existe nenhum equipamento capaz de utilizar todo o potencial que a fibra óptica oferece (TARANTOLA, 2014).

Tabela 1 – Diferenças entre tecnologias de rede de acesso.

Internet Connection Speed	Example Broadband Technology	Time to load a typical web page*	Time to download a typical 5-minute song**	Time to load 5 minute high quality youtube video***	Streaming Video Quality
56K	dial-up modem	14 sec	12 min 30 sec	7 hr 56 min	Not Available
512k	Satellite	1.6 sec	1 min 30 sec	52 min 5 sec	Not Available
1.5Mb	DSL / 3G	0.8 sec	41 sec	17 min 15 sec	Low Quality
3Mb	DSL / Cable / 4G	0.4 sec	20 sec	7 min 37 sec	Medium Quality
9Mb	DSL / Cable	Instantaneous	3.5 sec	3 min 49 sec	TV Quality
12Mb	Cable / DSL / LTE / Satellite	Instantaneous	3 sec	2 min 19 sec	TV Quality
16Mb	Cable / Fiber	Instantaneous	1.75 sec	1 min 55 sec	TV Quality
30Mb	Cable / Fiber	Instantaneous	1 sec	55 sec	HD Quality
100Mb	Fiber	Instantaneous	Instantaneous	16 sec	HD Quality
* Assumes a typical web page is 100 kilobytes of data					
** Assuming a typical song is a 5 megabyte MP3 file					
***Assuming a 200 megabyte file size					
The primary factor affecting the speed of your connection to the Internet is the type of connection you have. Below is a list of connection types and typical connection speeds. The National Telecommunications and Information Administration (NTIA) defines a connection as broadband if it can achieve at least 768 Kbps download speeds and 200 Kbps upload.					

Fonte: SUZANNE, 2014.

2.1.1. Necessidade de *internet* de alta velocidade

Nos últimos anos tem existido uma grande necessidade de uma banda larga de alta velocidade, pois com o avanço dos *smartphones*, *tablets*, *PCs* e entre outros, exigiu-se em simultâneo o avanço da *internet*. Como pode-se observar na Tabela 2, uma *internet* de 9 Mbps está no limite para uma família de 4 pessoas, levando em conta que a mãe está assistindo em sua TV algo com definição em HD. Quando se leva em consideração resoluções de vídeo em FULL HD, 2K ou 4K (*Ultra HD*), deve considerar adquirir uma internet com uma banda maior.

Uma empresa de *streaming* de filmes, séries e documentários informa em seu *site* (Figura 3) algumas velocidades de conexão recomendadas para cada uma de suas resoluções de vídeo. Como pode-se observar, para assistir algo em *Ultra HD* é recomendado uma *internet* de 25 Mbps. Ao substituir esse dado da Figura 3 na Tabela 2, a internet mínima necessária para suprir uma família seria de cerca de 30 Mbps. De acordo com a *Montana Broadband* (responsável pela Tabela 1), a única tecnologia de rede de acesso que poderia suprir essa demanda com eficiência, menores perdas de sinal e custo-benefício seria a fibra óptica.

Tabela 2 – Banda de internet mínima para uma casa de 4 pessoas.

<u>Family Member</u>	<u>Activity</u>	<u>Bandwidth Usage</u>
Dad	E-Mail	0.5 Mbps
	Web Browsing	0.5 Mbps
Mom	Streaming Hi-Def Movie on Smart TV	4 Mbps
Daughter	Streaming Music	2Mbps
	Social Media	0.03 Mbps
Son	Streaming Music	2 Mbps
	Total:	9.03 Mbps

Fonte: ABBMISSOURI, 2014.

Figura 3 – Velocidades recomendadas de conexão.

0,5 megabits por segundo – Velocidade de conexão de banda larga necessária
 1,5 megabits por segundo – Velocidade de conexão de banda larga recomendada
 3,0 megabits por segundo – Recomendada para qualidade SD
 5,0 megabits por segundo – Recomendada para qualidade HD
 25 Megabits por segundo – Recomendada para qualidade Ultra HD

Fonte: NETFLIX, 2018.

2.1.2. Considerações econômicas

A partir das considerações feitas na seção anterior, pode-se notar que o consumo de *internet* está aumentando bastante. Esse aumento é o grande responsável pelos investimentos no desenvolvimento e implantação de redes de acesso com fibra óptica, particularmente, redes PON (seção 3.1.1.).

O que mostra que basicamente um terço dos usuários da *internet* está utilizando a *internet* para a reprodução de vídeos e músicas. De acordo com CISCO (2017), o consumo mundial de dados de *internet* em 2016 foi de 58630 *Petabytes* de dados trafegados por mês e para 2021 é previsto subir para cerca 195440 *Petabytes*, resultando em um aumento de mais de 3 vezes o tráfego de dados em 5 anos (Tabela 3).

Tabela 3 – Tráfego de *internet* do consumidor.

Consumer Internet Traffic, 2016–2021	2016	2017	2018	2019	2020	2021	CAGR 2016–2021
By Network (PB per Month)							
Fixed	52,678	67,081	83,518	103,696	127,152	154,023	24%
Mobile	5,953	9,345	14,029	20,556	29,343	41,417	47%
By Subsegment (PB per Month)							
Internet video	42,029	57,116	75,109	98,182	125,853	159,161	31%
Web, email, and data	9,059	10,681	12,864	15,120	17,502	19,538	17%
Online gaming	915	1,818	2,857	4,396	6,753	10,147	62%
File sharing	6,628	6,810	6,717	6,554	6,388	6,595	0%
By Geography (PB per Month)							
Asia Pacific	20,049	26,401	34,179	44,669	57,659	74,419	30%
North America	19,365	25,132	31,802	39,647	48,224	56,470	24%
Western Europe	8,929	11,475	14,344	17,857	22,011	27,211	25%
Central and Eastern Europe	4,206	5,152	6,321	7,960	10,155	12,822	25%
Middle East and Africa	1,771	2,801	4,218	6,209	9,059	13,229	50%
Latin America	4,311	5,466	6,683	7,909	9,387	11,288	21%
Total (PB per Month)							
Consumer Internet traffic	58,630	76,426	97,547	124,252	156,496	195,440	27%

Fonte: CISCO, 2017.

Todos os dados acima dão um resumo de como a demanda por conteúdo e, consequentemente, por banda tem crescido nos últimos anos e como o mercado de redes de acesso de alta velocidade pode se beneficiar disso.

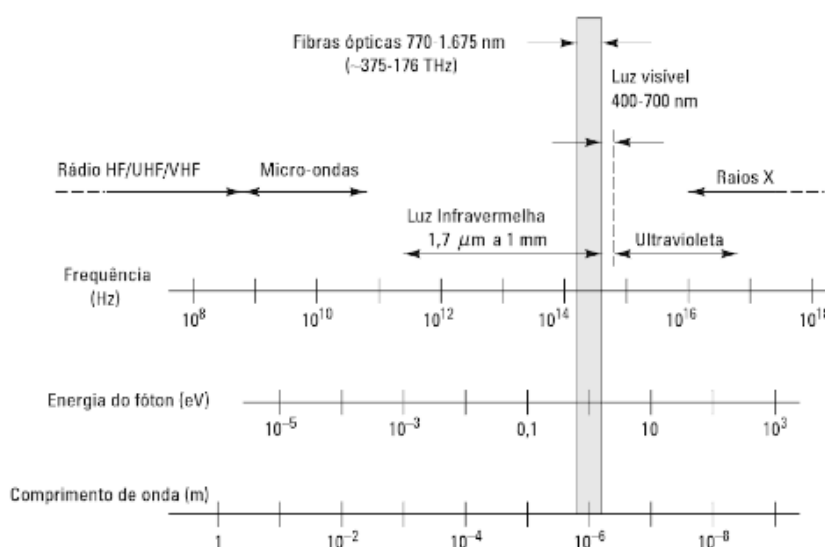
Diante desse cenário, é natural que operadoras invistam cada vez mais em redes de acesso com fibra óptica com arquiteturas FTTx (seção 3.1.4). Além disso, investimentos em

redes de fibra óptica são considerados investimentos com grande perspectiva de futuro, uma vez que a tecnologia de equipamentos ópticos está longe de se tornar obsoleta.

2.2. FIBRA ÓPTICA

A fibra óptica é um guia de ondas dielétrico que opera nas frequências ditas ópticas, como ilustrado na Figura 4. Esse guia de onda é construído geralmente em formato cilíndrico. A fibra óptica confina a energia eletromagnética na forma de luz dentro de sua superfície e guia a luz em uma direção paralela a seu eixo (KEISER, 2014).

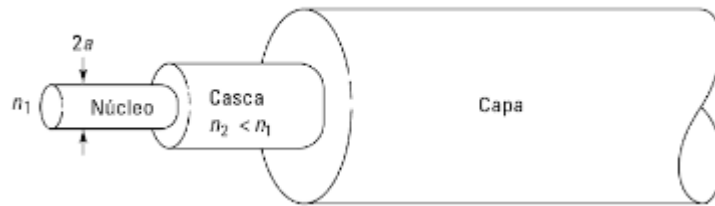
Figura 4 – Espectro de radiação eletromagnética.



Fonte: KEISER, 2014.

A estrutura amplamente aceita da construção de uma fibra óptica consiste em um único cilindro dielétrico sólido de raio a e índice de refração n_1 , como ilustrado na Figura 5. Esse cilindro descrito anteriormente é conhecido como *núcleo* da fibra. O núcleo é revestido por uma *casca* dielétrica que possui um índice de refração n_2 menor que n_1 . Essa casca serve para vários propósitos como: reduzir a perda por dispersão resultante das discontinuidades da superfície dielétrica do núcleo, protege o núcleo da absorção de contaminantes superficiais com os quais ele pode entrar em contato e acrescenta resistência mecânica (KEISER, 2014). A função básica de uma fibra óptica é transmitir alguma informação de algum equipamento a outro equipamento, ou seja, realizar um enlace de dados.

Figura 5 – Esquema da estrutura de uma fibra óptica convencional de sílica. Uma capa de plástico é geralmente utilizada para servir de encapsulamento.

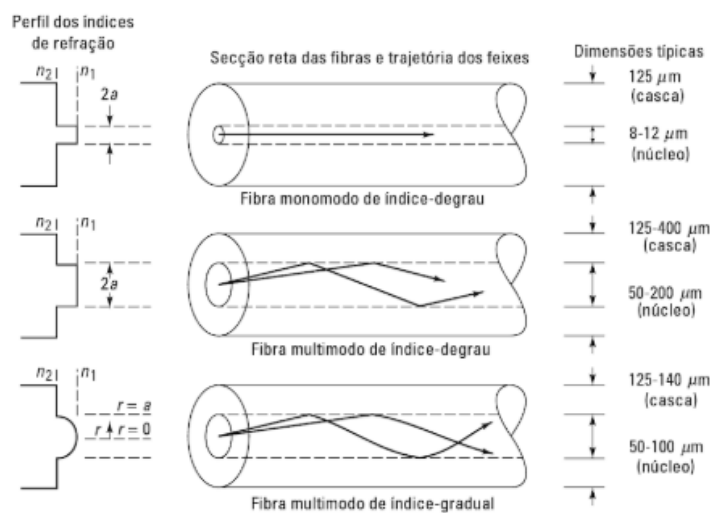


Fonte: KEISER, 2014.

2.2.1. Tipos de fibra óptica

Nas fibra ópticas mais comuns, o núcleo é um vidro composto de um material chamado sílica de alta pureza (SiO_2) rodeado por uma casca de vidro. Além do núcleo de vidro, fibras com núcleo de plástico de alta perda com cascas plásticas também são altamente utilizadas (KEISER, 2014).

Figura 6 – Comparação entre as fibras ópticas convencionais monomodo e multimodo com índice-degrau e índice-gradual.



Fonte: KEISER, 2014.

De acordo com Keiser (2014), as variações na composição do material do núcleo acabam por dar origem aos dois tipos de fibras mais comuns, o qual está ilustrado na Figura 6. Para o primeiro caso (fibra óptica de índice-degrau), o índice de refração do núcleo é uniforme ao longo do seu comprimento e sofre uma mudança brusca na interface com a sua casca. Para o segundo caso (fibra óptica de índice-gradual), o índice de refração do núcleo é feito para variar

em função da distância radial a partir do centro da fibra. Ambos os tipos de fibras ópticas podem ser divididos em duas classes: monomodo (SM) e multimodo (MM). A fibra monomodo (ou modo único) sustenta apenas um modo de propagação, enquanto que as fibras multimodo podem conter centenas de modos.

De acordo com Condufibra (2017) as vantagens e desvantagens do tipo de fibra monomodo são:

- Vantagens:
 - Velocidade superior ao multimodo;
 - Maior alcance de sinal e menor taxa de perda.
- Desvantagens:
 - Difícil alinhamento em caso de emendas e conectores;
 - Preço dos equipamentos muito alto.

De acordo com Condufibra (2017) as vantagens e desvantagens do tipo de fibra multimodo são:

- Vantagens:
 - Ideal para o uso em redes LAN;
 - Fácil de trabalhar e alinhar em caso de emendas e conectores;
 - Preço dos equipamentos mais baixo que monomodo, barateando custo de redes.
- Desvantagens:
 - Taxas de transmissão mais baixas que cabos monomodo (apesar de não ser tão discrepante em curtas distâncias);
 - Distância limitada.

As fibras multimodo oferecem outras vantagens em comparação às monomodo. Por exemplo: os raios maiores do núcleo das fibras multimodo tornam mais fácil enviar potência e facilitam a conexão com conjuntos de fibras semelhantes. Outra vantagem é que a luz pode ser introduzida pela fibra multimodo, usando como fonte um LED (diodo emissor de luz), enquanto que nas fibras monomodo, ela deve ser, na maioria dos casos, excitada com diodos do tipo *laser* (KEISER, 2014). A escolha do tipo de fibra óptica é levada em conta no tipo de projeto a ser feito. (Obs.: Informações de valores de distância e velocidade serão levadas em consideração nos capítulos subsequentes).

2.2.2. Materiais de fibra óptica

Como explicado anteriormente na seção 2.2.1, o tipo mais comum de material para fibra óptica é feita de vidro, constituído de sílica (SiO_2) ou de um silicato. A variedade de fibras de vidro disponíveis vai de fibras com perda moderada e núcleos de grandes dimensões utilizadas para transmissão de curta distancia a fibras muito transparentes (baixa perda) empregadas em aplicações de longa distância. Além de fibras de vidro, existem também fibras de plástico, são menos utilizadas em razão de sua atenuação substancialmente mais elevada que nas fibras de vidro. A principal aplicação das fibras plásticas é em aplicações de curta distância e em ambientes mais agressivos, ou seja, exija uma enorme resistencia mecânica das fibras plásticas (vantagem em relação às fibras de vidro) (KEISER, 2014).

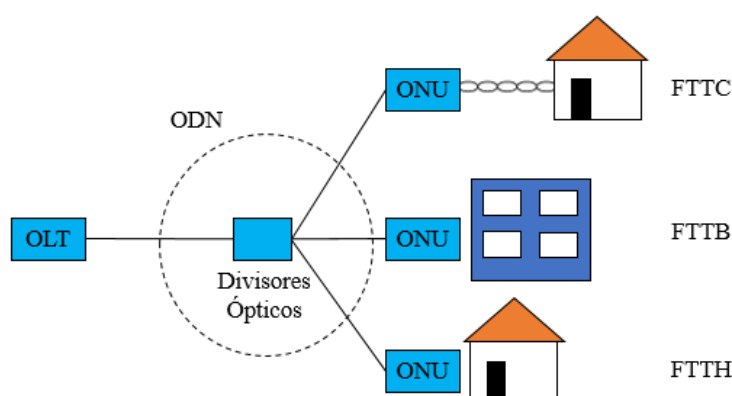
3. REDES ÓPTICAS

3.1. REDE DE ACESSO ÓPTICA

3.1.1. Arquitetura das redes PON

As redes ópticas passivas são compostas por fibras ópticas e diversos dispositivos ópticos e sistemas. Em resumo, uma rede PON é constituída de uma OLT (*Optical Line Terminal*), uma ODN (*Optical Distribution Network*) contendo os divisores ópticos (*splitters*) e diversas ONUs (*Optical Network Unit*). Assim como poderemos observar na Figura 7.

Figura 7 – Componentes de uma rede PON.



Fonte: Autor.

3.1.1.1. OLT (*Optical Line Terminal*)

A OLT (Figura 8) trata-se de um equipamento ativo que está localizado nas instalações do operador de telecomunicações, localizado na CO (*Central Office*). A OLT controla e administra a transmissão das ONUs, precisando de um receptor que opere em modo rajada (volumes esporádicos de tráfego). As rajadas são diversos *bits* vindo de uma determinada ONU. Portanto, é preciso controlar os diferentes níveis de amplitude do sinal, já que as ONUs estão localizadas em distâncias diferentes do OLT (KRAMER e PESAVENTO, 2002) (GUTIERREZ, KIM, *et al.*, 2005).

O comprimento de onda de operação entre o OLT e o ONU vai depender do tipo de técnica de acesso múltiplo empregada na rede, que será melhor abordada na seção 3.2.

Segundo Nunes (2016), vários aspectos devem ser considerados pelo engenheiro responsável pelo projeto da rede, como:

- Potência: Tem de ser suficiente para permitir uma boa recepção de sinal no destino. Quanto maior a rede, maior será a potência necessária pois as distâncias serão maiores;
- Comprimento de onda: A dispersão cromática é o comportamento diferenciado da luz quando se propaga no interior deste material. O efeito de dispersão cromática é menor para comprimentos de onda menores uma vez que o índice de refração geralmente diminui com o comprimento de onda (SACHS, 2012).
- Ruído: Não deve sofrer flutuações aleatórias de amplitude do ruído (relativo ao custo do equipamento e fabricante);
- Insensibilidade ao meio ambiente: Deve possuir uma maior resistência a possíveis alterações climáticas que possam comprometer o funcionamento;
- Custo: O custo/benefício deve ser o melhor possível;
- Fiabilidade: Deve ser classificado com um MTBF (*Mean Time Between Failure*) elevado. Os números MTBF representam uma aproximação estatística de quanto tempo um conjunto de dispositivos deve durar antes de sua falha (TECH-FAQ, 2013).

Existem dois tipos de emissores óticos em uma OLT. Os de *LEDs* e os diodos *laser*. Os emissores *LEDs* são mais simples, baratos e confiáveis, no entanto, possuem um espectro mais largo de luz derivado de uma emissão incoerente, possuem pior eficiência no acoplamento de luz na fibra e limitações na velocidade de modulação. São por isso usados em sistemas de menor capacidade de transmissão. Os emissores do tipo *laser* semicondutores são mais caros e mais sensíveis a variações de temperatura, gerando uma radiação mais coerente, com espectro mais estreito e feixe mais diretivo com potências maiores. São maioritariamente usados em sistemas óticos de elevada taxa de transmissão e/ou transmissões de elevadas distâncias (PEREIRA, 2008).

Figura 8 – OLT PON AN5516-04 da *FiberHome*.



Fonte: WDCNET, 2018.

3.1.1.2. ONx (ONU/ONT)

A função dos fotodetectores dentro de uma ONU é absorver a luz transmitida pela fibra e convertê-la em corrente elétrica para processamento do receptor. O ideal é que os fotodetectores tivessem o maior alcance possível, operando nos menores níveis possíveis de potência óptica, e realizando a conversão com o mínimo de erros e de ruído, porém cada fabricante possui um valor máximo e mínimos de potências suportadas (PEREIRA, 2008).

Uma ONU é um aparelho que dependendo de sua localização pode ser chamado tanto de ONU (*Optical Network Unit*) ou ONT (*Optical Network Terminal*), esta localização é também chamada de graus de penetração da fibra óptica (seção 3.1.4.). Quando se está na configuração FTTCab (*Fiber-to-the-Cabinet*) e FTTC (*Fiber-to-the-Curb*) ela é chamada de ONU e quando ela está na configuração FTTH (*Fiber-to-the-home*) e FTTB (*Fiber-to-the-Building*) recebe o nome de ONT. Além disso, quando a OLT envia mensagens em broadcast, as ONUs/ONTs reconhecem apenas mensagens destinadas a ela e ignoram as demais. Isso acontece porque uma única fibra tem sua potência dividida em uma determinada fração, o qual é necessário que a ONU/ONT possa reconhecer qual dado é destinado a ela, os dados podem ser transportados de acordo com a tecnologia operante na rede (seção 3.2.) (SANTOS, ROSSI e CÉSAR, 2009). Obs.: A partir de agora será somente mencionado ONU, não ONT, pois ONU é a forma mais comum de se relacionar aos receptores ópticos.

Figura 9 – ONU fabricada pela *FiberHome*.



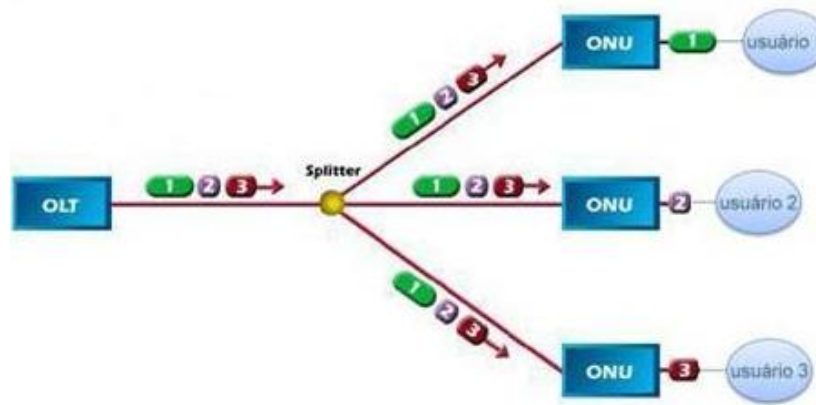
Fonte: MGN, 2018

3.1.1.3. Divisor de potência (*splitter*)

O divisor passivo, mais conhecido como *splitter* óptico é um dispositivo passivo capaz de combinar e dividir o sinal óptico em sentido:

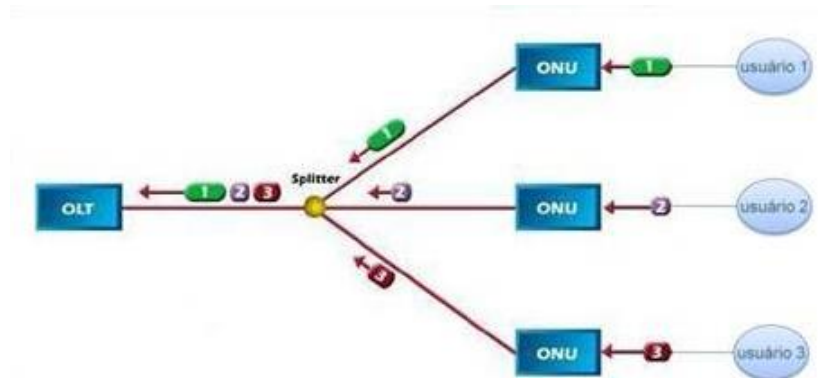
- *Downstream*: Neste sentido este dispositivo irá dividir o sinal de entrada e o direciona para todas as portas de saída que estão ligadas com as ONUs, assim como ilustra a Figura 10 (CARMEN e CARRASCO, 2007).

Figura 10 – Tráfego no sentido *downstream*.



Fonte: CARMEN e CARRASCO, 2007.

- *Upstream*: Neste sentido este dispositivo combina todos os sinais enviados desde as ONUs em direção ao OLT. Cada ONU estabelece comunicação direta com o OLT, mas não com as outras ONUs conforme ilustrado na Figura 11 (CARMEN e CARRASCO, 2007).

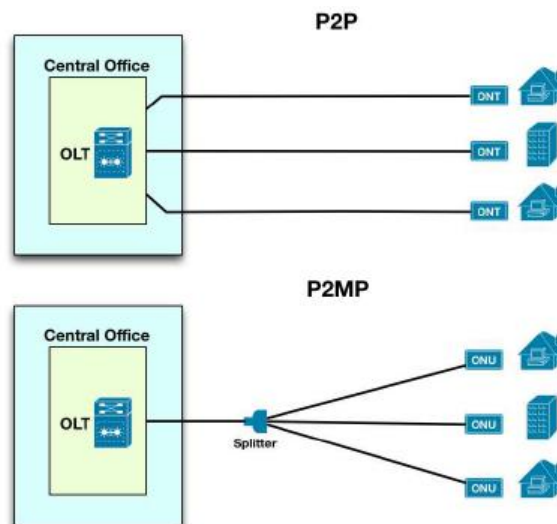
Figura 11 – Tráfego no sentido *upstream*.

Fonte: CARMEN e CARRASCO, 2007.

3.1.2. Rede óptica ativa (AON)

As redes ópticas ativas ou redes AON (*Active Optical Network*) apresentam uma grande diferença em relação às soluções PON: necessitam de equipamentos ativos (*switches*, *routers* ou *multiplexers*) em sua ODN, ou seja, requerem alimentação elétrica para distribuir o sinal óptico. As topologias adotadas por estas redes de acesso podem ser topologias ponto-a-ponto (Figura 12), uma fibra dedicada a um utilizador final, ou topologias ponto-a-multiponto (Figura 12), que necessitam de equipamentos ativos implementados na rede de transporte. Como os equipamentos são ativos, o custo de implementação e manutenção são bem mais elevados se comparados às redes PON (LOPES, 2011).

Figura 12 – Redes P2P (ponto-a-ponto) e P2MP (ponto-a-multiponto).



Fonte: RODRIGUES, 2013.

3.1.3. Rede óptica passiva (PON)

As redes ópticas passivas ou redes PON (*Passive Optical Network*) na rede de acesso foram concebidas com base numa topologia de rede de ponto-multiponto, onde o meio é comum a múltiplos utilizadores que partilham a mesma largura de banda. Estas redes são então designadas de redes passivas pois, com a exceção dos equipamentos terminais (OLT e ONU), não há necessidade de recurso a energia elétrica na rede de transporte. Dessa forma, como não há equipamentos ativos na ODN o planeamento da rede é simplificado e os custos de operação e manutenção são diminuídos (LOPES, 2011).

3.1.4. Graus de penetração da fibra óptica (FTTx)

Dependendo do ponto de terminação da fibra óptica, as arquiteturas FTTx têm diversas designações, as mais comuns são: FTTN (*Fiber-To-The-Node*), FTTCab (*Fiber-To-The-Cabinet*), FTTC (*Fiber-To-The-Curb*), FTTB (*Fiber-To-The-Building*) e FTTH (*Fiber-To-The-Home*).

3.1.4.1. FTTN/FTTCab

Esta arquitetura é constituída por cabos óticos desde a central até ao armário de distribuição servindo áreas relativamente reduzidas, com cerca de 1500 m de raio. A ligação dos terminais (ONU) ao armário será suportada por cabo coaxial ou o tradicional par trançado de cobre. Destinam-se a uma distribuição para uma densidade populacional de algumas centenas de utilizadores (SANTOS, 2012).

3.1.4.2. FTTC

Esta arquitetura descreve a implementação de fibra ótica desde a CO até um armário que agrega uma pequena área de cerca de 300 m de raio, associado a uma pequena densidade populacional, que se interligam a esse armário através de cabo coaxial ou par trançado de cobre, da mesma forma que a FTTN/FTTCab. Esta arquitetura difere da designada por FTTCab principalmente no fator de alcance da fibra, pois permite um alcance máximo de 300 metros enquanto que a FTTCab tem um alcance superior, entre 300 a 1500 metros (SANTOS, 2012).

3.1.4.3. FTTB

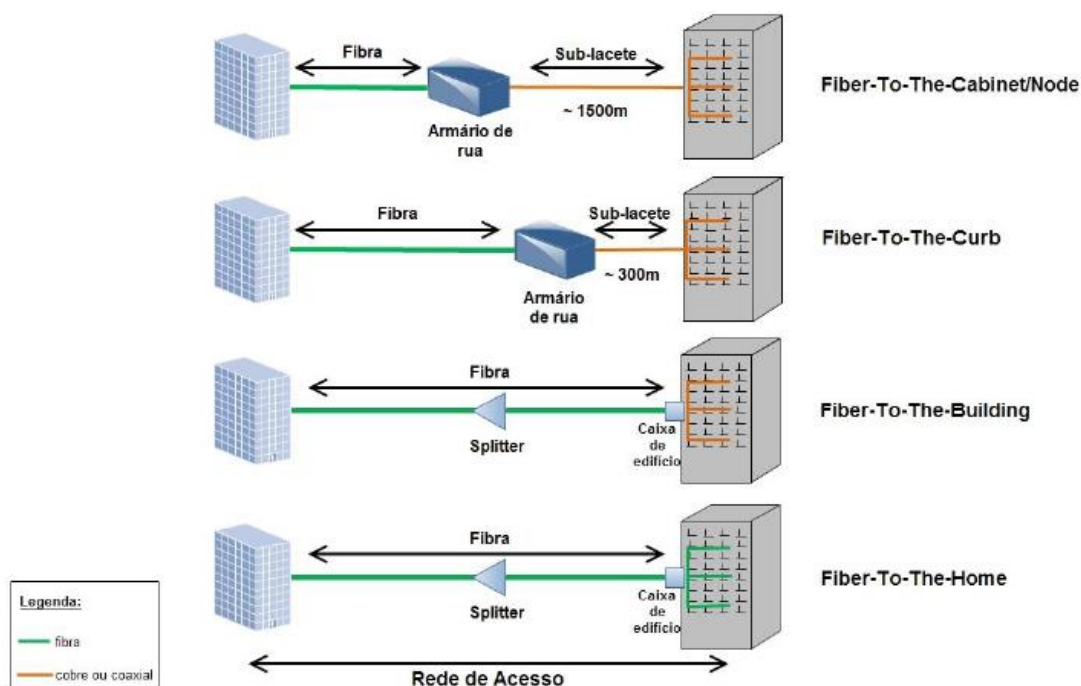
Esta arquitetura diz respeito à implementação de fibra ótica desde a CO até à entrada dos edifícios quer eles sejam residenciais ou empresariais, não chegando ao apartamento do cliente. A ligação entre o armário situado à entrada do edifício e o equipamento do utilizador é assegurado por meio de cabos de pares trançados de cobre, cabo coaxial (SANTOS, 2012).

3.1.4.4. FTTH

Este cenário contempla a implementação de fibra ótica em toda a rede de acesso, ou seja, desde a central de distribuição, até ao equipamento final, colocado na residência do cliente. Os tipos de redes FTTH conseguem obter uma taxa maior de transmissão de dados pois somente a fibra ótica é utilizada para comunicação, não é utilizado nenhum cabo coaxial ou par trançado de cobre (SANTOS, 2012).

Como discutido anteriormente na seção 2.1.1 (Necessidade de *internet* de alta velocidade), o tipo de rede FTTH é a que melhor representa o futuro, pois com o aumento da largura de banda será exigido a menor perda de sinal/dados possível.

Figura 13 – Graus de Penetração de uma rede óptica (FTTx).



Fonte: LOPES, 2011.

3.1.5. Topologia das redes PON

As redes ópticas passivas podem ser implementadas por três topologias físicas: em anel, barramento ou árvore. Cada topologia apresenta características distintas, sendo implementadas conforme a necessidade do projeto (KRAMER e PESAVENTO, 2002). Porém uma outra topologia pode ser aplicada, em forma de estrela (OLIVEIRA, 2014),

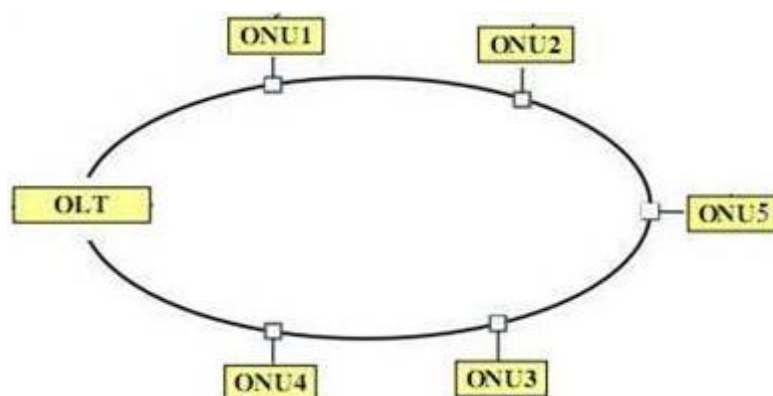
3.1.5.1. Topologia em anel

Na topologia em anel, duas ONUs são conectadas a uma OLT criando dois segmentos de transmissão. As demais ONUs são conectadas de forma serial, formando um barramento óptico, como ilustrado na Figura 14.

A principal vantagem é a proteção, pois assim como em sistemas elétricos de potência caso ocorra um rompimento da fibra, o tráfego da rede circula na outra direção, também conhecido como redundância da rede (LAM, 2007).

Contudo apresenta a mesma desvantagem que a topologia em barramento, visto que o sinal óptico é atenuado sempre que passa por um *splitter* (OLIVEIRA, 2014).

Figura 14 – Topologia de rede em anel.



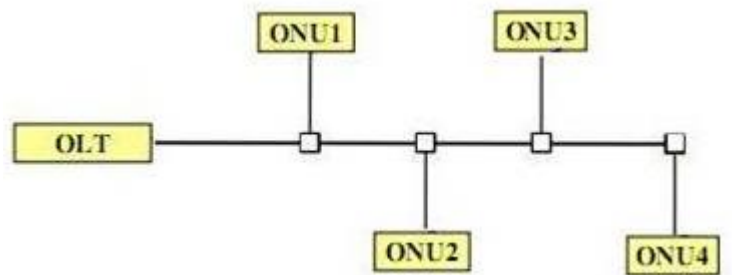
Fonte: FERREIRA, 2011.

3.1.5.2. Topologia em barramento

Numa topologia em barramento os ONUs são interligados ao OLT de acordo com o esquema da Figura 15. Como é possível constatar, existe um cabo de fibras ligado ao OLT e posteriormente cada ONU recebe uma fibra proveniente de um *splitter* com fator de derivação

de 1:2. Por cada *splitter* introduzido na rede, existe uma perda de potência do sinal ótico. Por esse motivo, as ONUs mais afastados do OLT recebem um sinal ótico mais fraco (CARVALHO, 2009).

Figura 15 – Topologia de rede em barramento.



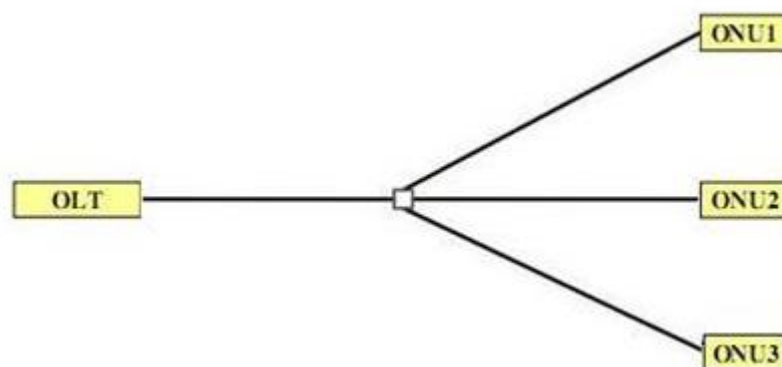
Fonte: FERREIRA, 2011.

3.1.5.3. Topologia em árvore

Na topologia em árvore, uma OLT é conectada a um divisor óptico passivo por meio de uma fibra. A partir deste divisor, as ONUs são interligadas à OLT, como é ilustrado na Figura 16. Essa topologia no sentido *downstream* ela é ponto-multiponto, já no sentido *upstream* ela é ponto-a-ponto (LAM, 2007) (ARBIETO, 2007).

Esta topologia é a mais utilizada nas redes PON, devido a sua simplicidade e ao seu baixo custo de implementação e manutenção. Porém, possui uma desvantagem, pois toda a rede depende de uma única fibra (entre o OLT e o primeiro *splitter*), que em caso de falha/rompimento deixa toda a rede óptica a jusante sem *internet* (CARVALHO, 2009)

Figura 16 – Topologia de rede em árvore.

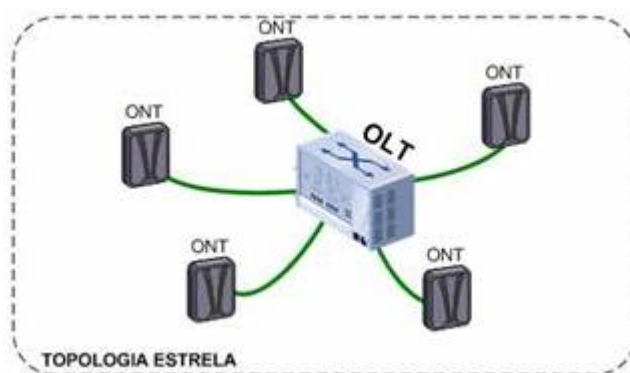


Fonte: FERREIRA, 2011.

3.1.5.4. Topologia em estrela

Esta topologia fornece uma conectividade ponto-a-ponto entre OLT e ONT/ONU (Figura 17). Esta topologia permite entrega de banda dedicada de altas taxas aos usuários finais e possui baixo custo em operação, administração e manutenção (OAM) (OLIVEIRA, 2014).

Figura 17 – Topologia de rede em estrela.



Fonte: OLIVEIRA, 2014.

3.2. TÉCNICAS DE ACESSO MÚLTIPLO

Nas redes PON é necessário controlar o acesso múltiplo ao canal na transmissão *upstream*, em razão de todas ONUs compartilharem uma mesma fibra (normalmente 1:64). As técnicas mais utilizadas para acesso múltiplo são as seguintes: TDMA, WDMA, OCDMA, SCMA (KRAMER, MUKHERJEE e PESAVENTO, 2001).

3.2.1. TDMA (TDM-PON)

De acordo com Perros (2005), o TDMA (*Time-Division Multiple Access*) é uma técnica de múltiplo acesso por divisão por tempo, dividindo a largura de banda total do enlace em vários canais. Esta distribuição de banda por esses canais é feita pela atribuição de um intervalo de tempo, denominado *time slot*. Dessa forma a técnica TDMA permite que cada ONU utilize um *timeslot*, podendo ser fixo ou variável explorando toda a largura de banda do canal.

Este esquema utiliza um mesmo comprimento de onda para a transmissão, é necessário só um tipo de transceptor para todas as ONUs, facilitando a operação e manutenção do sistema. Consequentemente, os custos são menores que as outras técnicas (WDMA, OCDMA, SCMA).

Os quadros de comunicação *upstream* de diferentes ONUs são transmitidos de tal forma que alcancem a OLT em uma forma sequencial, o que requer uma sincronização das transmissões, considerando todo o período que leva a propagação do sinal de cada ONU até o OLT, para evitar colisão dos sinais. O controle da transmissão normalmente é realizado na central pela OLT, indicando o instante em que a ONU deve enviar seus dados (ARBIETO, 2007), (LAGE e OLIVEIRA, 2006).

A técnica TDMA nas redes PON é chamada de TDM-PON. As tecnologias TDM-PON mais em uso atualmente são:

- *Broadband-PON (BPON) (ITU G.983 Recommendations);*
- *Ethernet-PON (EPON) (IEEE Standard 802.3ah);*
- *Gigabit-PON (GPON) (ITU G.984 Recommendations).*

A Tabela 4 apresenta algumas datas importantes na evolução das tecnologias de rede PON.

Tabela 4 – Datas importantes das tecnologias óticas de redes de acesso.

Ano	Acontecimento
1990	Nascimento da FSAN
1998	FSAN especifica a APON com débitos entre 155-622 Mbps
2001	ITU-T lança versão final da norma G.983 (baseado em APON), designando-a por BPON
2003	ITU-T especifica a GPON G.984 com 2.4 Gbps no sentido descendente e 1.2 Gbps ascendente
2004	IEEE especifica a EPON 802.3ah com 1 Gbps simétrico
2006-09	Massificação de redes GPON na América e na Europa
2007	IEEE especifica a 10G-EPON 802.3av com 10 Gbps simétrico
2010	ITU-T especifica a 10G-PON G.987 com 10 Gbps no sentido descendente e 2.5 Gbps ascendente

Fonte: RODRIGUES, 2013.

3.2.1.1. APON

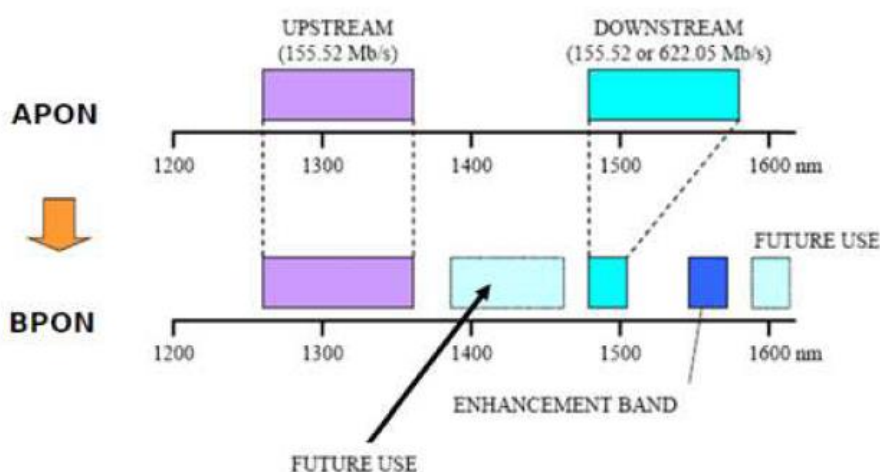
A APON (*ATM Passive Optical Network*) foi a primeira tecnologia ótica passiva a surgir (em 1998), definida pelo ITU-T segundo a norma G.983.1. A APON é baseada no protocolo

ATM (*Asynchronous transfer mode*), e permite transferência de dados de 622 Mbps no sentido descendente e 155 Mbps no sentido ascendente. A distância máxima de ligação é de 20 km (atenuação total entre 10 e 30 dB) e suporta *splitters* com um fator de divisão até 1:64. Como exemplo, APON a operar a 622 Mbps com um *splitter* de 1:32 pode fornecer velocidades de cerca 20 Mbps a cada cliente. Se o *splitter* for 1:64, a APON consegue entrar uma velocidade de cerca de 10 Mbps, no sentido descendente. Apesar de ser um protocolo baseado na técnica TDM-PON, pode ser utilizado dois comprimentos de onda sobre uma mesma fibra ótica, usando comprimento de onda de 1550 nm para o tráfego descendente e 1310 nm para o tráfego ascendente (LOPES, 2011).

3.2.1.2. BPON

A BPON (*Broadband Passive Optical Network*) é uma evolução da tecnologia APON, permitindo a implementação de WDM e alocação dinâmica de largura de banda para upstream (DBA – *Dynamic Bandwidth Allocation*). Esta tecnologia tem a capacidade de fornecer diferentes prioridades na atribuição da largura de banda aos seus utilizadores, dependendo dos serviços/aplicações desejados e suportados, uma vez que implementa DBA (LOPES, 2011).

Figura 18 – Faixas de operação APON/BPON.



Fonte: NERI e FINOCHIETTO, 2013.

A Figura 15 ilustra as diferenças que existem relativamente à faixa de comprimento de onda de operação da APON e da BPON. Enquanto a APON tem uma largura de banda de 100 nm em cada sentido, a BPON vê reduzida a sua largura de banda no sentido descendente para

20 nm e reserva uma banda de 10 nm nos 1550 nm para transmissão de vídeo (NERI e FINOCHIETTO, 2013).

Esta arquitetura oferece serviços baseados em ATM, distribuição de vídeo, linhas alugadas e acesso Ethernet. Fornece uma largura de banda de cerca de 155 Mbps no sentido *upstream* e 622 Mbps no sentido *downstream*.

No entanto, apesar das melhorias sobre o APON, eles possuem um alto custo de implementação, bem como várias limitações técnicas. Assim, tem se movido lentamente para resolver os problemas colocados por esta tecnologia, que hoje permite velocidades assimétricas de até 1,2 Gbps da seguinte maneira (PLA, 2011):

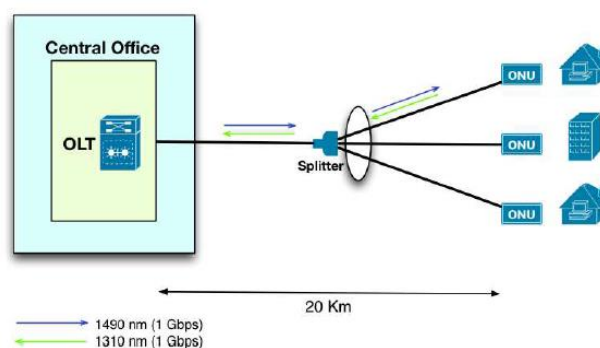
Tabela 5 – BPON *downstream/upstream* combinações.

Downstream	Upstream
155 Mbps	155 Mbps
622 Mbps	155 Mbps
622 Mbps	622 Mbps
1,244 Gbps	155 Mbps
1,244 Gbps	622 Mbps

Fonte: PLA, 2011.

3.2.1.3. EPON

Figura 19 – Rede EPON



Fonte: RODRIGUES, 2013.

Paralelamente às evoluções por parte da ITU, o IEEE também normalizou uma tecnologia de rede passiva. Surge então a EPON (*Ethernet Passive Optical Network*) também chamada de GEPON (*Gigabit Ethernet Passive Optical Network*) com a norma IEEE 802.3ah,

Tabela 6 – Recomendações da Norma ITU-T Gpon G.984.

ITU-T	Recomendação	Especificações
G.984.1	Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): Especificações Gerais	• Fornece resumo das características essenciais • Taxas de transmissão desde 1.244/0.155 até 2.488/2.488 Gbps • Máximo alcance físico, Máximo alcance lógico
G.984.2	Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): Camada PM	• Fornece as especificações da camada PMD
G.984.3	Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): Especificações da transmissão	• Fornece as especificações da camada TC ➢ Modo ATM, Modo GEM, ou operação em modo dual ➢ Segurança AES
G.984.4	Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): ONT Interfase de controle e gerenciamento	• Fornece gerenciamento da ONT
G.984.5	Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON)	• Melhoramento da banda
G.984.6	Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON)	• Extensão

Fonte: BONILLA, 2008.

Nos sistemas GPON existem diferentes fluxos de informação e cada um corresponde a um comprimento de onda distinto. Os comprimentos de onda de funcionamento para o canal de comunicação *downstream* é de 1480-1500 nm e de 1260-1360 nm para o canal de comunicação *upstream*. Um comprimento de onda adicional, situado em 1550-1560 nm pode ser utilizado, no sentido *downstream*, para distribuição de vídeo RF. A divisão dos *splitters* pode variar de 8 a 128 (apesar do máximo a ser implementado na prática ser de 64) e o alcance máximo é de 20 km (LOPES, 2011).

Quanto às classes de rede de distribuição ótica que definem a atenuação total, tal como a BPON suporta as classes A, B e C (seção 3.4.2). Em adição são ainda especificadas as classes B+ (atenuação total entre 13 a 28 dB) e C+ (atenuação total entre 17 a 32 dB) na especificação G.984.2 (NERI e FINOCHIETTO, 2013), (CARVALHO, 2009).

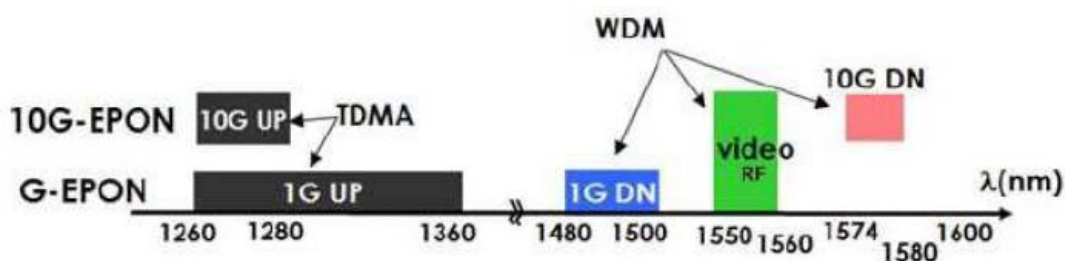
3.2.1.5. 10G-EPON

A evolução da EPON é a 10G-EPON (*10 Gigabit - Ethernet PON*), o IEEE lançou a P802.3av para prover 10 Gbit/s no sentido *downstream*, e entre 1 e 10 Gbit/s para *upstream* (LEE, SORIN e KIM, 2006).

A Figura 21 ilustra as faixas de comprimento de onda de operação da 10G-EPON. Para que a migração de EPON para a tecnologia 10G-EPON não seja tão custosa para o provedor de *internet*, é necessário que as duas tecnologias consigam coexistir na mesma ODN. Para que isso

aconteça, a 10G-EPON deve utilizar um comprimento de onda diferente na transmissão *downstream*, situando-se faixa dos 1575-1580 nm. Já na transmissão *upstream*, os comprimentos de onda entram em conflito sendo necessário o recurso à técnica de acesso múltiplo TDMA. Apesar disso, a largura de banda é menor comparativamente à EPON, entre 1260-1280 nm (RODRIGUES, 2013).

Figura 21 – Faixas de comprimento de onda EPON/10G-EPON.



Fonte: LOPES, 2011.

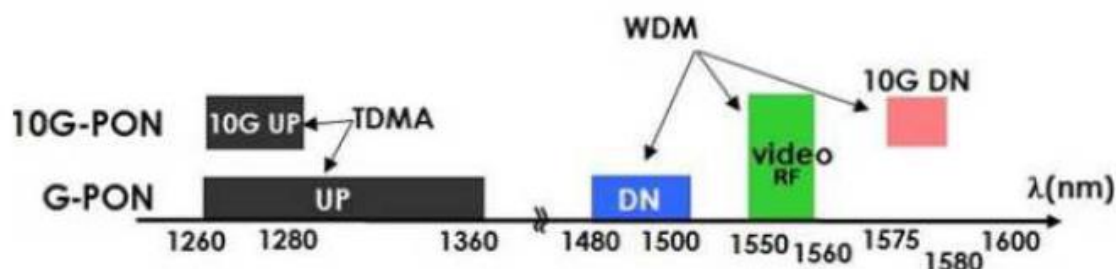
Da mesma forma que a EPON, a 10G-EPON permite distâncias de 20 km e *split ratio* de 1:32. Em sistemas que em um ritmo de 10 Gbps, todos os canais são obrigatórios a ter recurso ao FEC (*Forward Error Correction*), o qual permite, através de alterações no sinal digital que está sendo transmitido, melhorias na performance sistêmica. Esta tecnologia utiliza uma codificação 64b/66b, o que significa que por cada grupo de 64 bits é codificado um sinal de 66 bits, com uma perda de 2 bits.

3.2.1.6. 10G-PON

A evolução da tecnologia GPON é a 10G-PON (10 *Gigabit* – *PON*) e é definida pela norma ITU-T G.987. Como se pode analisar na Figura 22, a transmissão no sentido *downstream* ocorre na banda de 1575-1580 nm com uma taxa de transferência de dados de 10 Gbps. Já no sentido *upstream*, opera nos 1260-1280 nm suportando taxa de transferência de dados de 2,5 Gbps. Contudo, esta tecnologia também suporta taxas simétricas, isto é, 10 Gbps no sentido ascendente e descendente, sendo que neste caso será necessária a utilização de emissores mais caros nos ONUs (LOPES, 2011).

A tecnologia 10G-PON é capaz de suportar os serviços de distribuição de vídeo em alta definição (HDTV) ou até mesmo vídeos em resolução 4K, e ao mesmo tempo suportar a gama de serviços já suportada pelo seu antecessor GPON (ALMEIDA, 2009).

Figura 22 – Faixas de comprimento de onda GPON/10G-PON.



Fonte: LOPES, 2011.

Para a tecnologia 10G-PON coexistir com a tecnologia GPON, deve se levar em consideração seus comprimentos de onda. No caso da tecnologia GPON, a transmissão *downstream* de 2,5 Gbit/s é limitada à banda de 1480-1500 nm e a transmissão *upstream* é limitada à banda de 1260-1360 nm. No caso da tecnologia 10G-PON, a transmissão *downstream* de 10Gbit/s é limitada à banda de 1575-1580 nm e a transmissão *upstream* é limitada à banda de 1260-1280 nm. Na transmissão *upstream* as bandas que delimitam as respectivas transmissões entram em conflito assim como na 10G-EPON, permitindo o compartilhamento desta região do espectro caracterizada por uma baixa dispersão cromática. Este compartilhamento requer uma separação no domínio do tempo para os dois canais, usando a técnica de acesso múltiplo TDMA. Da mesma forma que a 10GE-PON, o recurso ao FEC é obrigatório para todos os canais de transmissão *upstream* e *downstream* (LOPES, 2011).

A Tabela 7 apresenta as principais características das tecnologias APON/BPON, EPON e GPON.

A Tabela 8 apresenta alguns vantagens e desvantagens das tecnologias de acesso múltiplo existentes.

Tabela 7 – Principais características das redes APON/BPON, EPON e GPON.

Arquiteturas	APON/BPON	EPON	10GE-PON	GPON	10G-PON
Padrão	ITU G.983	IEEE 802.3ah	ITU G.987	ITU G.984	IEEE 802.3av
Alcance	20 km	20 km	20 km	20 km	20 km
Taxa downstream	1,25 Mbit/s	1,25 Gbit/s	10 Gbit/s	2,5 Gbit/s	10 Gbit/s
Taxa upstream	622 Mbit/s	1,25 Gbit/s	10 Gbit/s	1,25 Gbit/s	10 Gbit/s
Protocolo	ATM	<i>Ethernet</i>	<i>Ethernet</i>	GEM/ATM	XGEM/ATM/ <i>Ethernet</i>
Comprimento de onda downstream	1480-1500 nm	1490-1510 nm	1575-1580 nm	1480-1500 nm	1575-1580 nm
Comprimento de onda upstream	1260-1360 nm	1260-1360 nm	1260-1280 nm	1260-1360 nm	1260-1280 nm
Comprimento de onda vídeo RF	1550-1560 nm	1550-1560 nm	1550-1560 nm	1550-1560 nm	1550-1560 nm
Split Ratio	32	32	32	64	64
Largura de banda média por usuário	40 Mbit/s	40 Mbit/s	312 Mbit/s	40 Mbit/s	156,25 Mbit/s
Codificação	NRZ	8b/10b	64b/66b	NRZ	NRZ
FEC	Facultativo	Facultativo	Obrigatório	Facultativo	Obrigatório
Custos relativos	Baixo	Mais baixo	Elevado	Médio	Elevado
Encriptação	Não especificado	AES	AES	Não especificado	Não especificado
Eficiência	72%	49%	-	92%	-

Fonte: (ABRAMS, BECKER, et al, 2005), (NERI e FINOCHIETTO, 2013) e (PLA, 2011).

Tabela 8 – Vantagem e desvantagens – tecnologias de acesso múltiplo – redes PON.

ACESSO MÚLTIPLO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
TDMA	Permite cada ONU utilizar uma fração da capacidade de comprimento de onda; Na OLT é necessário somente um transceptor independentemente dos número de ONUs; Consequentemente, os custos são menores.	Necessita de um gerenciamento mais complicado que o esquema WDM; as ONUs devem estar sincronizadas.
WDMA	Fornecer uma largura de banda alta; a implementação é muito simples; o esquema WDM pode utilizar um separador de comprimento de onda (<i>Arrayed Waveguide Grating</i> - AWG) em lugar do divisor de potência (LEE; SORIN; KIM, 2006). Portanto, não são necessárias ferramentas de segurança para a transmissão na direção <i>downstream</i> , já que outras ONUs na PON não tem acesso a outros comprimento de onda <i>downstream</i> .	Os altos custos dos equipamentos requeridos encarecem ainda mais o emprego destas soluções; Uma vez que uma ONU é adicionada ao sistema, também deve ser atualizada a infraestrutura do OLT (novo transceptor), a não ser que haja uma quantidade de transmissores de reserva. Estes inconvenientes tornam o esquema WDMA caro e momentaneamente inviável ou restrito.
SCMA	Implementações Simples	O sinal é degradado pela interferência de batimento óptica; utiliza-se um receptor no OLT de largura de faixa elétrica de pelo menos 2 vezes o agregado das N taxas de transmissão dos canais
OCDMA	Não estabelece um limite fixo no número de usuários; provê segurança.	A interferência entre os comprimentos de onda aumenta com o número de usuários; os componentes físicos devem operar a taxas maiores que a taxa de dados dos usuários.

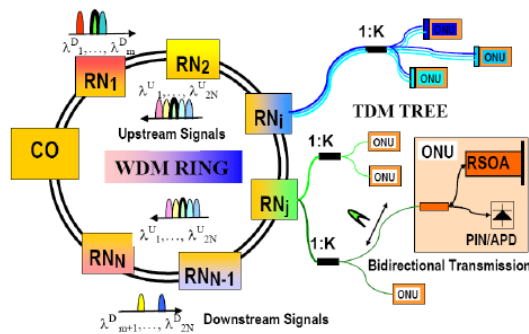
Fonte: CARMEN e CARRASCO, 2007.

3.2.2. Esquemas híbridos

Também é possível implementar soluções PON híbridas (*Hybrid-PON*) (GUTIERREZ, et. al, 2005). As técnicas WDM (*Wavelength-division multiplexing*) e TDM (*Time-division multiplexing*) podem ser combinadas quando um subconjunto de ONUs compartilharem um comprimento de onda comum. Essa arquitetura mantém a escalabilidade porque os novos usuários podem ser adicionados a cada grupo (WDM ou TDM) sem a necessária adição de novo *hardware* à OLT (CARMEN e CARRASCO, 2007) (LEE, SORIN e KIM, 2006).

A Figura 23 ilustra um exemplo de uma rede híbrida que além de utilizar as técnicas WDM e TDM, utiliza as topologias de rede em anel e em árvore.

Figura 23 – Exemplo de Rede óptica híbrida WDM/TDM.



Fonte: CARVALHO, 2009.

3.3. ELEMENTOS DE UMA REDE ÓPTICA PON

3.3.1. Elementos Ativos

Os elementos ativos de uma rede PON são a OLT e a ONU descritos na seção 3.1.1.

3.3.2. Elementos Passivos

3.3.2.1. Emendas

De acordo com Fiberwan (2013), as uniões servem para unir duas fibras e são essencialmente de 3 tipos:

- **Emenda mecânica:** Este processo consiste em alinhar duas fibras através do uso de uma pequena peça feita para tal finalidade (Figura 24), a qual mantém estas fibras posicionadas frente a frente, sem realmente se ter a união definitiva. O custo de investimento deste método é relativamente reduzido, porém não é aconselhável em sistemas que exijam uma grande confiabilidade;

Figura 24 – Emenda mecânica.



Fonte: NUNES, 2016.

- Emenda por acoplamento de conectores: Este processo é bem semelhante ao processo de emenda mecânica, onde duas fibras devem ser alinhadas. Nesse caso, em cada fibra é colocado um conector óptico e estes dois conectores são encaixados em um acoplador óptico de modo a tornar possível o alinhamento entre as fibras, sem realmente se ter a união definitiva. Este é o processo com a menor recomendação dos 3 tipos, já que apesar do custo mais reduzido é o que demanda maior tempo para realização.

Figura 25 – Emenda por Acoplamento de conectores.



Fonte: ISP BLOG, 2016.

- Fusão: Para fundir duas fibras numa é necessária uma máquina de fusão que possui altíssimo custo. De acordo com Nunes (2016), se a fusão for bem efetuada tem por norma uma atenuação menor que 0,05 dB. A Figura 26 apresenta a fusão de duas fibras.

Figura 26 – Máquina de fusão

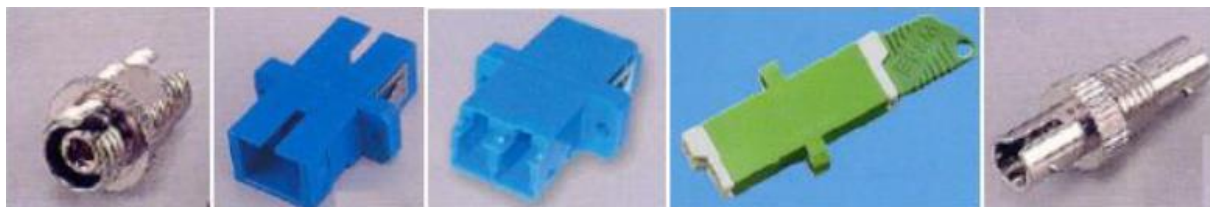


Fonte: Autor.

3.3.2.2. Adaptadores, conectores, *pigtails*

Os adaptadores permitem realizar a união entre dois cabos de fibra óptica terminados em conectores. Existem diversos tipos de adaptadores os quais permitem a junção de diversos tipos de conectores. A Figura 27 apresenta alguns conjuntos de adaptadores.

Figura 27 – Alguns tipos de adaptadores.



Fonte: NUNES, 2016.

Os conectores são ferramentas que possui a função de conectar a fibra óptica a alguns aparelhos ou outros dispositivos. Existem diversas famílias de conectores que têm atenuações que variam entre os 0,1 até 1 dB (Figura 28).

Figura 28 – Seis tipos de conectores de fibra óptica, características e aplicações.

Tipo de conector	Características	Aplicações
ST	Usa um ferrule cerâmico e um <i>housing</i> metálico resistente. É preso por torção. A faixa típica de perda é 0,20-0,50 dB.	Projetado para aplicações de distribuição usando tanto fibras multimodo como monomodo.
SC	Projetado pela NTT para conexões de encaixe em espaços apertados. Utiliza um ferrule cerâmico em <i>housings</i> plásticos simplex ou dúplex para fibras multi ou monomodos. A faixa típica de perda é 0,20-0,45 dB.	Amplamente utilizado em Gigabit Ethernet, ATM, LAN, MAN, WAN, comunicação de dados, Fibre Channel e redes de telecomunicação.
LC	Conector SFF que usa o <i>housing</i> de plugar do padrão telefônico RJ-45 e ferrules cerâmicos em <i>housings</i> plásticos simplex ou dúplex. A faixa típica de perda é 0,10-0,50 dB.	Disponível em configurações simplex e dúplex para aplicações de TV a cabo, LAN, MAN e WAN.
MU	Conector SFF baseado em um ferrule cerâmico de 1,25 mm e um único ferrule solto. A faixa típica de perda é 0,10-0,30 dB.	Usado principalmente no Japão. Adequado para aplicações montadas em placas e montagens de distribuição de cabos.
MT-RJ	Conector SFF com duas fibras em um ferrule moldado em plástico e um mecanismo melhorado RJ-45. A faixa típica de perda é 0,25-0,75 dB.	As aplicações são para MANs e LANs, como cabeamento óptico horizontal para a área de trabalho.
MPO/MTP	Pode acomodar até 12 fibras ópticas multimodo ou monomodo em um único ferrule compacto. A faixa típica de perda é 0,25-1,00 dB.	Permite alta densidade de conexões entre equipamentos de rede e salas de telecomunicações.

Fonte: KEISER, 2014.

O *patch cord* (*pigtail*) é uma designação para os cabos óticos utilizados entre equipamentos ativos e os distribuidores óticos. Eles podem possuir diferentes conectores nas extremidades, tal como se pode constatar na Figura 29. Normalmente os cabos de cor amarela são fibras óticas de monomodo, enquanto os laranja são multimodo.

Figura 29 – *Patch cord / pigtails*.



Fonte: RODRIGUES, 2013.

3.3.2.3. Atenuadores óticos

Segundo Onate (2011), os atenuadores óticos permitem alterar a intensidade do sinal para evitar a saturação nos receptores, normalmente eles são utilizados para reduzir a potência à entrada de uma ONU ou ONT pois estes aparelhos possuem uma faixa de potência para trabalho. O valor de atenuação pode ser de 1 dB a 20 dB em intervalos de 1dB, podem ser fixos ou variáveis.

Figura 30 – Alguns tipos de atenuadores.



Fonte: ONATE, 2016.

3.3.2.4. Filtros óticos

Estes filtros possuem função de multiplexar uma fibra em vários comprimentos de onda, criando diversos canais. Cada canal permite a transmissão de um sinal distinto.

Figura 31 – Filtro óptico.



Fonte: NUNES, 2016.

3.3.2.5. Divisores de potência (*splitters*)

De acordo com Rodrigues (2013), os *splitters* são equipamentos passivos que permite efetuar a divisão de potência do sinal óptico para vários ONTs/UNUs. No mercado, existem *splitters* desde 1:2, 1:8, 1:16, 1:32 e 1:64 (entrada/saída). No entanto, é bom notar que quanto maior for a relação de divisão do *splitter* mais atenuação será introduzida ao sinal transmitido. Pode-se verificar o interior de um destes equipamentos na Figura 32.

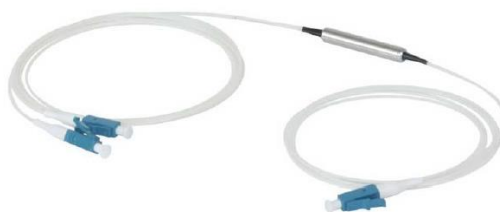
Figura 32 – *Splitter* óptico 1/64.

Fonte: RODRIGUES, 2013.

3.3.2.6. Acoplador WDM

Segundo Rodrigues (2013), o acoplador WDM tem a função de multiplexar comprimentos de onda na mesma fibra ótica. Possui funcionamento semelhante aos *splitters*, com a diferença sendo essa mencionada anteriormente. Um exemplo deste tipo de equipamento encontra-se representado na Figura 33.

Figura 33 – Acoplador WDM.

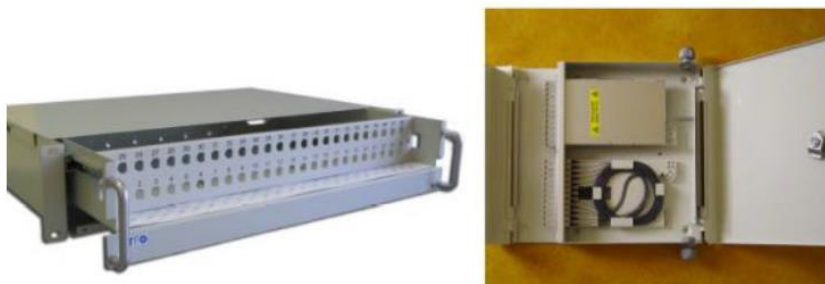


Fonte: RODRIGUES, 2013.

3.3.2.7. Caixa de terminação ou distribuidor óptico (DIO)

De acordo com Nunes (2016), os distribuidores ópticos são utilizados na terminação ou na interconexão dos cabos de fibra óptica (as fibras provenientes do *backbone* são emendadas a *pigtails* e estas são abrigadas dentro da carcaça do DIO). Explicando de uma outra forma, um DIO serve para acomodar, organizar e proteger as fusões feitas entre os cabos ópticos e as extensões ópticas. Existem modelos para instalação em *racks* ou para instalação em parede. A Figura 34 apresenta um distribuidor óptico para instalação em *racks* e um distribuidor óptico para instalações em paredes.

Figura 34 – Distribuidor óptico em formato de *rack* (à esquerda) e distribuidor óptico instalado em parede (à direita).



Fonte: NUNES, 2016.

3.3.2.8. Caixa de Distribuição Óptica (CDO)

As caixas de distribuição são responsáveis por abrigar e distribuir as fibras ópticas de uma rede. Elas recebem as fibras provenientes da OLT distribuem para as caixas de terminação óptica (CTO). Um exemplo de uma caixa CDO está apresentada na Figura 35.

3.3.2.9. Caixa de Terminação Óptico (CTO)

As caixas de terminação (ou caixa de atendimento) óptico possuem função semelhante as caixas de distribuição óptica. As caixas CTOs servem de interface entre as caixas CDOs e a casa do cliente onde está localizado a ONU/ONT. Um exemplo de uma caixa CTO está apresentada na Figura 36.

Figura 35 – Caixa de Distribuição Óptica (CDO).



Fonte: Autor.

Figura 36 – Caixa de Terminação Óptica (CTO).



Fonte: Autor.

3.3.2.10. Cabos de fibra óptica

A Figura 37 ilustra os elementos básicos que compõe um cabo de fibra óptica.

Figura 37 – Estrutura de um cabo de fibra óptica genérico.



Fonte: MADEIRA, 2011.

Estes elementos estão descritos a seguir (MADEIRA, 2011):

- Núcleo (ou *core*): O núcleo é onde realmente ocorre a transmissão dos pulsos de luz;
- Casca (ou camada de refração): É responsável por cobrir o núcleo e a propagação de todos os feixes de luz, evitando que existam perdas no decorrer dos trajetos;
- Revestimento interno (*Coating*): Possui a função de proteção primária, isolando os impactos externos e evitando que a luz natural (externa) atinja as fibras de vidro internas, o que poderia resultar em interferências no sinal transmitido;
- Fibra de fortalecimento: Têm a função de proteger a fibra de quebras que podem acontecer em situações de torção do cabo, impactos no transporte além de permitir o puxamento do cabo durante o processo de instalação;
- Proteção plástica (ou capa protetora): Essa camada de proteção é composta por uma camada plástica e é responsável pela proteção externa evitando o desgaste natural por exposição ao ambiente.

3.3.2.11. Tipos de cabos de fibra óptica

De acordo com Madeira (2011), a composição interna das Fibras ópticas os cabos podem ser:

- *Loose tube buffer*: As fibras ópticas encontram-se em tubos de plástico de diâmetro interior consideravelmente maior do que o diâmetro exterior das fibras. O interior desse tubo é, como pode observar na Figura 38, geralmente preenchido por um gel, isolando a fibra de forças mecânicas externas aplicadas sobre o cabo.

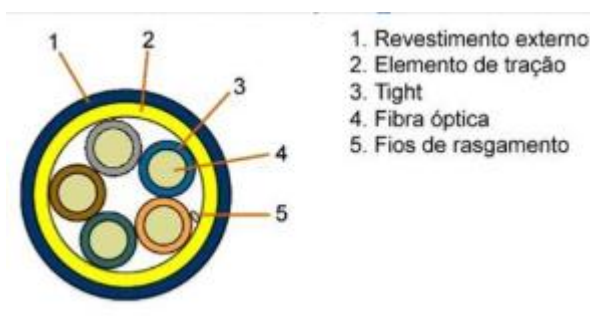
Figura 38 – Cabo tipo *Loose tube buffer*.



Fonte: MADEIRA, 2011.

- *Tight buffer*: Neste tipo de estrutura, as fibras recebem um revestimento secundário de nylon ou poliéster. As fibras após receberem este revestimento, são agrupadas juntas com um elemento de tração que irá dar-lhe resistência mecânica, sobre este conjunto é aplicado um revestimento externo que irá proteger o cabo contra danos físicos. Além disso, confere maior facilidade de reparação por fusão quando existe quebra das fibras, pois partem todas no mesmo local. No entanto, estes cabos apresentam menor isolamento relativamente a variações de temperatura e menor tolerância a *stress* mecânico. A Figura 39 ilustra um cabo deste tipo.

Figura 39 – Cabo tipo *Tight buffer*.

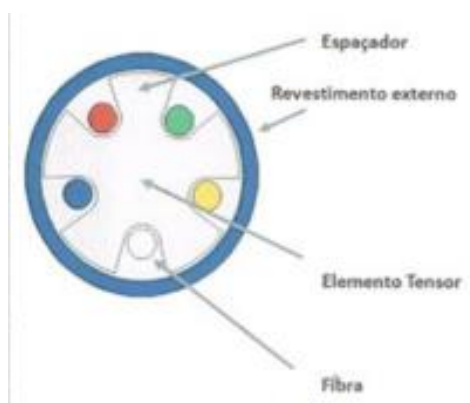


Fonte: MADEIRA, 2011.

- *Groove*: Em uma estrutura tipo *groove* as fibras ópticas são acomodadas soltas em uma estrutura interna do tipo ESTRELA. Esta estrutura apresenta ainda um elemento de tração ou elemento tensor incorporada em seu interior, a função básica deste elemento é de dar resistência mecânica ao conjunto. Uma estrutura deste tipo permite um número muito maior de fibras por cabo. A Figura 40 ilustra um cabo deste tipo.

- *Ribbon*: Este tipo de estrutura deriva do tipo *groove*, nestes cabos as fibras são agrupadas horizontalmente e envolvidas por uma camada de plástico, tornando-se um conjunto compacto. Estes conjuntos são alojados nas ranhuras das estruturas estelares do cabo tipo *groove*. Essa configuração é utilizada em aplicações em que é necessário um número muito grande de fibras ópticas (por exemplo, 4.000 fibras). A Figura 41 ilustra um cabo deste tipo.
- *Armados*: São usados em condutas ou em locais afetados por roedores. Possuem tipicamente uma fita metálica corrugada entre duas camadas de material termoplástico, como ilustra a Figura 42, o que evita a penetração de roedores.

Figura 40 – Cabo tipo *Groove*.



Fonte: MADEIRA, 2011.

Figura 41 – Cabo tipo *Ribbon*.



Fonte: MADEIRA, 2011.

Figura 42 – Cabo tipo armado.



Fonte: NUNES, 2016.

- Auto-suportados ou “em 8”: São cabos para instalação exterior em postes, sendo autossustentados por um fio de aço conjugado ao cabo ótico, formando o número 8 quando vistos de frente. A Figura 43 ilustra um cabo deste tipo.

Figura 43 – Cabo tipo auto-suportado.



Fonte: NUNES, 2016.

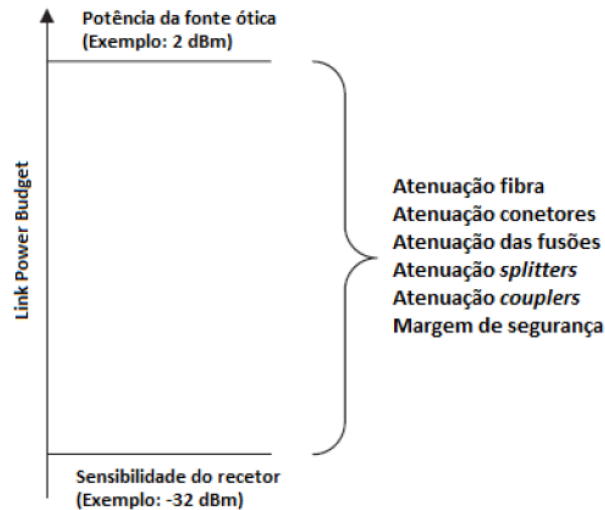
3.4. POWER BUDGET

O cálculo do *power budget* (orçamento de potência) consiste em determinar a distância máxima que a fibra óptica poderá ser distribuída na rede sem necessidade da colocação de repetidores ou amplificadores de sinal, ou seja, possui o objetivo de garantir que exista sinal de luz suficiente no receptor óptico (ONU) para cobrir as perdas na distribuição da fibra óptica. O *power budget* é calculado em decibéis (dB).

Existem dois conceitos importantes relativos ao *power budget*: *Link Power Budget* (orçamento de potência de ligação) e o *Link Loss Budget* (orçamento de perda de ligação). O primeiro é a diferença entre a potência introduzida na fibra e a sensibilidade do receptor ligado ao cabo de fibra óptica. O *Link Loss Budget* é o valor total das perdas de qualquer componente da ligação na rede óptica. Em todos os casos, o *Link Loss Budget* deve ser sempre inferior ao *Link Power Budget*, caso contrário o enlace estará comprometido pois o receptor não irá receber o sinal requerido. Como pode ser observado Figura 44, o total do *Link Power Budget* é a soma do *Link Loss Budget* e a margem de segurança para futuros (GONÇALVES, 2009). Segundo a

recomendação da ITU-T G.957 especifica uma margem entre 3 a 4,8 dB para ter em conta a degradação dos equipamentos e de possíveis reparações (KEISER, 2006).

Figura 44 – *Link Power Budget* (à esquerda) vs *Link Loss Budget* (à direita).



Fonte: KEISER, 2006.

3.4.1. Perda dos componentes passivos

Em toda a rede óptica existem diversos componentes passivos que ao serem inseridos na rede produzem uma pequena atenuação, esses componentes estão descritos na seção 3.3.2. A Tabela 9 resume alguns dos principais componentes que influenciam o *power budget* e o seu respetivo valor de atenuação.

Tabela 9 – Valores típicos do *Power Budget*.

Fatores de <i>power budget</i>	Valores típicos
Atenuação fibra G.652C (@1310 nm)	0,4 dB/km
Atenuação fibra G.652C (@1550 nm)	0,3 dB/km
Atenuação padrão por par de conetores	0,75 dB
Atenuação por fusão	0,1 dB
Atenuação WDM coupler	1,5 dB
Margem de segurança	Até 3 dB

Fonte: NERI e FINOCHIETTO, 2013.

Em um *splitter* a potência ótica de entrada é dividida pelos vários caminhos de saída que o componente possui. Dessa forma, quanto mais caminhos de saída o *splitter* possuir, maior será a divisão de potência (N) e por isso uma maior atenuação será introduzida. Idealmente a atenuação de um *splitter* óptico é calculado segundo a equação 1 (KEISER, 2006).

$$\text{Splitter Loss} = 10 \times \log(N) \quad (1)$$

Na Tabela 10 tem-se a representação dos valores de atenuação para os vários fatores de derivação dos *splitters* ópticos existentes.

Tabela 10 – Atenuações de *splitters*.

Splitter	Atenuação (DB)
1:2	3,4
1:4	6,8
1:8	10,2
1:16	13,6
1:32	17
1:64	20,4
1:128	23,8

Fonte: NERI e FINOCHIETTO, 2013.

3.4.2. Dimensionamento de uma rede PON

O primeiro passo para dimensionar uma rede PON consiste em decidir qual o comprimento de onda a rede irá transmitir para então selecionar os componentes da rede para operar nessa região. Nas redes FTTx pode-se contar com 3 comprimentos de onda: 1310, 1490 e 1550 nm. O cálculo do *power budget* terá que ser efetuado para os três comprimentos de onda, dado que a atenuação da fibra varia com o mesmo (KEISER, 2006).

Para o cálculo do *power budget* é importante inicialmente saber as características dos componentes ópticos escolhidos que irão se encontrar em cada uma das extremidades da fibra óptica (OLT e ONU). A quantidade de luz disponível no sistema é calculada através da equação 2. A variável P_T representa a potência transmitida do sinal que é emitido na fibra e P_R é a potência recebida (sensibilidade do receptor).

$$\text{Link Power Budget} = P_T - P_R \quad (2)$$

Como já explicado anteriormente, através do *power budget* sabe-se qual é a atenuação máxima que pode existir na rede distribuição óptica, entre o emissor e o receptor. Existem várias classes que caracterizam a atenuação máxima permitida numa rede de distribuição ótica, as quais tanto a OLT quanto a ONU descrevem em seus manuais. A Tabela 11 serve como exemplo para ilustrar o par de emissores e receptores que são utilizados em uma rede BPON/GPON, de acordo com a classe do *power budget*.

Tabela 11 – *Power budget* das várias classes para BPON e GPON.

	Emissor/Receptor OLT	Emissor/Receptor ONU	P_{Budget} (dB)
Classe A	DFB/APD	FP/PIN	20
Classe B	DFB/APD	FP/PIN	25
Classe B+	DFB/APD	DFB/APD	28
Classe C	DFB/APD	DFB/APD	30
Classe C+	DFB/APD	DFB/APD	33

Fonte: KEISER, 2006.

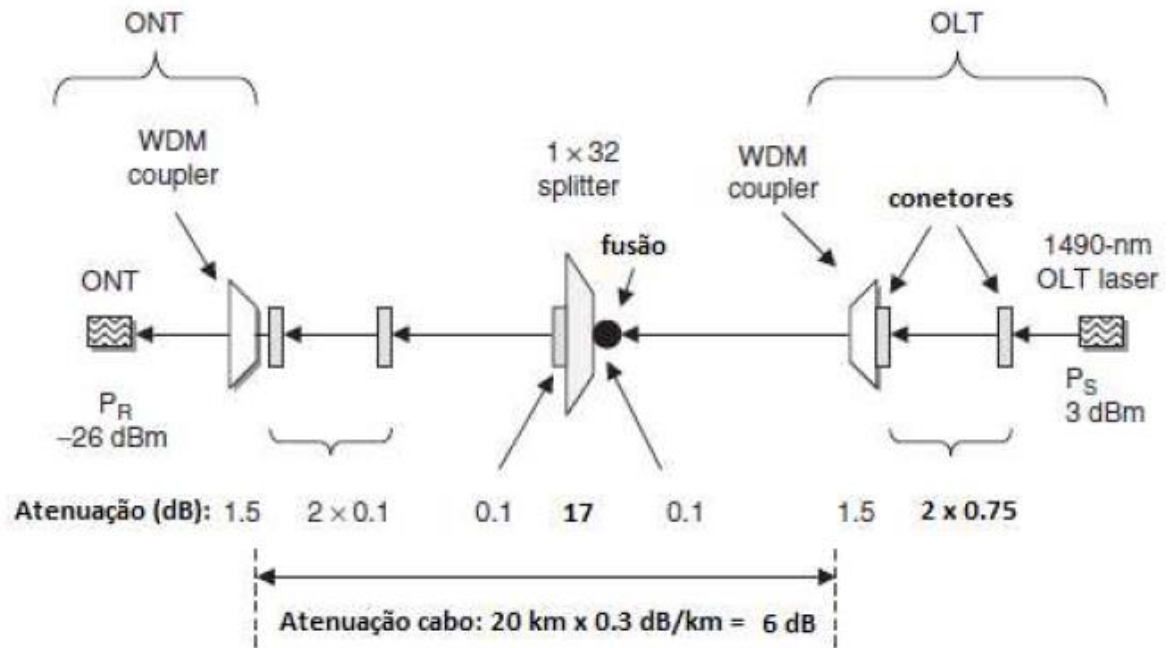
A Figura 45 ilustra um exemplo do dimensionamento do *power budget* uma rede PON. O cálculo da atenuação total introduzida é efetuado através da equação 3 (RODRIGUES, 2013).

$$\text{Link Loss Budget (dB)} = (\alpha_\lambda \times L) + (n \times C) + (S) + (n \times J) + (W) \quad (3)$$

Onde:

- α_λ = Atenuação da fibra que depende de seu comprimento de onda (dB/km);
 - L = Comprimento da fibra óptica (km);
 - n = fator multiplicativo;
 - C = Perdas por conectores;
 - S = Perda por *splitters*;
 - J = Perdas por fusão de fibra;
 - W = Perdas por cada WDM coupler.
-

Figura 45 – Dimensionamento do *power budget* de uma PON.



Fonte: KEISER (adaptado), 2006.

As tecnologias EPON e GPON possuem dimensionamentos de rede e cálculo de *power budget* muito semelhantes, pois elas possuem infraestrutura quase idêntica.

4. PROJETO DA REDE PON

4.1. DEFINIÇÕES INICIAIS DO PROJETO

Para o início do projeto é importante definir alguns parâmetros que serão base para todas as decisões tomadas ao longo do projeto.

4.1.1. Área de cobertura da rede

O primeiro passo para a realização de um projeto de rede de fibra óptica PON é a definição da área de cobertura desejada. Para este projeto definiu-se a cidade de Caraúbas, situada no interior do estado do Rio Grande do Norte, na região do médio oeste potiguar. A Figura 46 ilustra a distribuição dos bairros e a distribuição das vias da cidade.

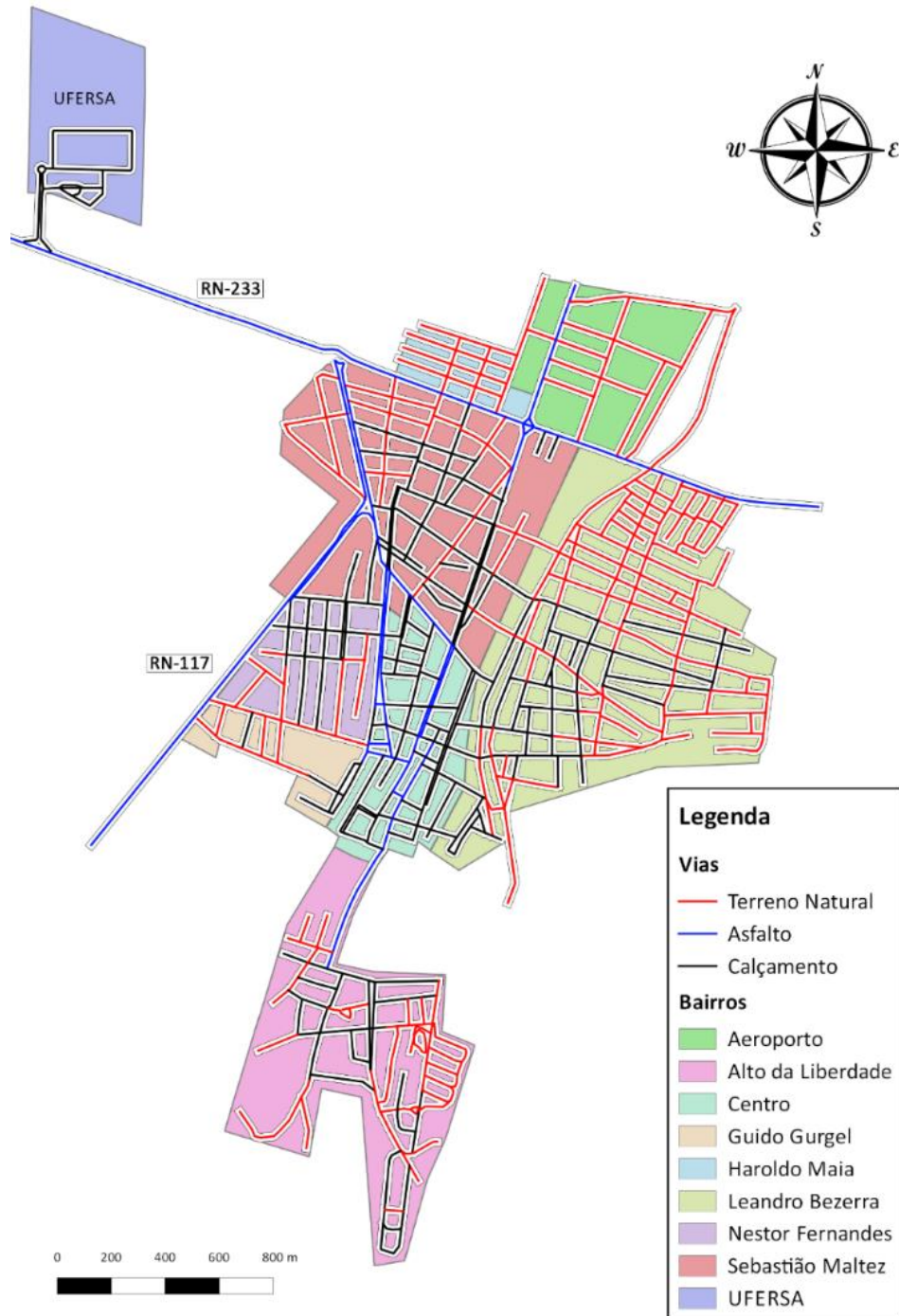
4.1.2. Esquematização e definição dos principais equipamentos da rede óptica

Após a decisão do local de construção de rede, é interessante escolher os equipamentos ativos (OLT e ONU) e também montar todo o sistema dentro do provedor, não só para assegurar a tecnologia utilizada nos equipamentos como também para servir de base para todo o projeto da rede PON. As definições posteriores dependem da tecnologia utilizada (por exemplo GPON ou EPON), em que a OLT e a ONU devem possuir o suporte para tal tecnologia. Os cálculos do *power budget*, *split rate* e definição da banda alocada são exemplos de atividades que devem ser feitas após a aquisição da OLT e ONU.

O projeto da rede PON FTTH na prática está esquematizado na Figura 47, na qual ilustram-se os principais componentes da rede e demonstra-se o percurso da rede óptica desde o recebimento do *link* de *internet* até a casa do cliente.

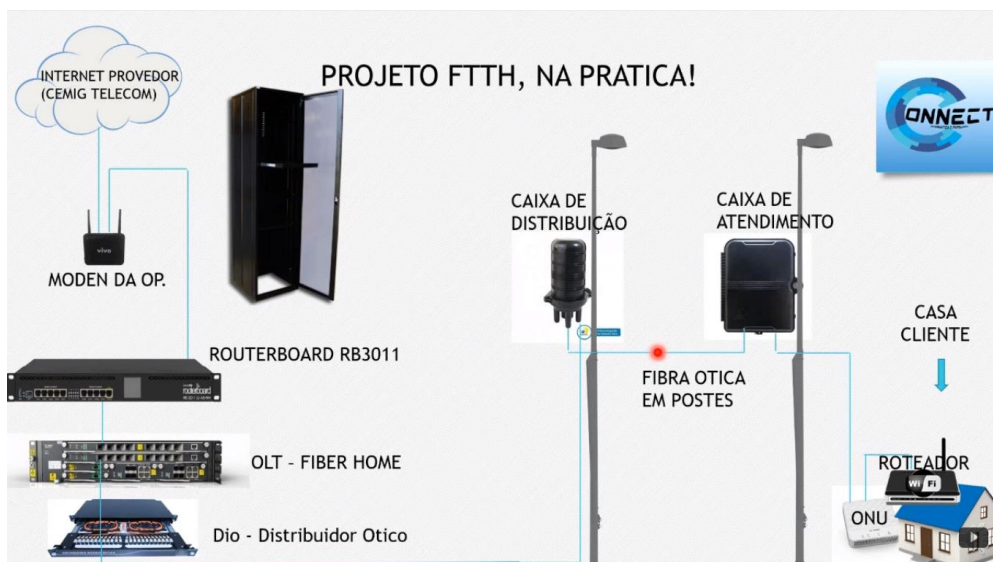
De acordo com a Figura 47, a *routerboard* escolhida é fabricada pela empresa *Mikrotik* modelo RB3011 (Figura 47), que realiza o gerenciamento de até 400 clientes (FÉLIX, 2018). Levando-se em consideração que este projeto seria executado por um provedor de *internet* recém-criado, uma rede com 400 clientes já possuiria um retorno monetário satisfatório para o provedor continuar a crescer sua rede óptica na região, caso necessário.

Figura 46 – Ilustração da distribuição das vias e dos bairros da cidade de Caraúbas/RN



Fonte: Oliveira, Ribeiro e Ferreira (2017).

Figura 47 – Projeto FTTH esquematizado.



Fonte: FÉLIX, 2018.

A OLT escolhida para o projeto é a OLT da fabricante chinesa *FiberHome* modelo AN5516-04 (Figura 8). Ela possui capacidade para operar com EPON, GPON, 10G-PON e P2P (ponto a ponto), porém neste projeto a tecnologia utilizada será a GPON. O motivo da escolha da tecnologia GPON resulta de custo-benefício e alta eficiência. Apesar da tecnologia EPON apresentar um custo menor que a GPON em termos das OLTs e ONUs, a GPON possui maiores benefícios, fazendo com que esta seja levada em consideração na definição da banda alocada. A tecnologia 10G-PON ainda não está tão difundida no Brasil. Por ser uma tecnologia recente, as ONUs que possuem capacidade para tecnologia 10G-PON ainda possuem preços muito elevados, inviabilizando a escolha desta tecnologia em um momento inicial.

Tabela 12 – Algumas características da OLT AN5516-05.

OLT AN5516-04	
Classe	Classe B+/C
Comprimento de onda	TX 1310 nm / RX 1490 nm
Taxa de transmissão	Upstream 1,25 Gbit/s / Downstream 2,5 Gbit/s
Razão de divisão	Até 1:64 por porta PON
Capacidade total de ONUs	1024

Fonte: WDCNET, 2018.

O DIO escolhido é o DIO *Fit* (Figura 48), que possui capacidade para acomodar 24 fibras ópticas.

Figura 48 – DIO *Fit*.



Fonte: LIVRE, 2018.

Para comportar os componentes mencionados até agora, são utilizados gabinetes (ou *racks*) construídos de metal ou alumínio. O modelo escolhido para o projeto é o S8512B da fabricante *Panduit* (Figura 49).

Figura 49 – *Rack* para servidor S8512B.



Fonte: WDCNET, 2018.

O cabo utilizado na distribuição da rede é fabricado pela *Prysmian Group* modelo G.652D monomodo com o tubo sendo do tipo *loose*. A escolha deste tipo de fibra óptica origina-se da sua construção, pois a fibra monomodo consegue proporcionar altas taxas de transferência de dados e suporta uma distância alta com poucas perdas de potência do seu sinal (seção 2.2.1). O cabo deve ser autossustentado para ser capaz de suportar seu peso entre os postes e não se romper. A distância suportada está descrita no *datasheet* do cabo (entre 80 e 200 metros). O tipo de cabo multimodo deve ser utilizado somente em pequenos trechos da rede. A Tabela 13

ilustra algumas características do cabo a ser utilizado no projeto. Todas as fibras ópticas dentro de um cabo possuem cores diferentes definidas, que servem para organização de rede e manutenção. O *datasheet* do cabo fornece tanto as cores que estarão presentes nos cabos (Figura 50) quanto a quantidade de fibras ópticas por tubo (Figura 51).

Tabela 13 – Características de perda potência do cabo G.652D monomodo.

Atenuação	nm	Requisito	Valores típicos
SM G.652B	1310 / 1550	dB/km	0,38 / 0,25
SM G.652D	1310 / 1383 / 1550	dB/km	0,38 / 0,38 / 0,25

Fonte: PRYSMIANGROUP, 2016.

Figura 50 – Identificação das fibras ópticas.

Cores das Fibras												
No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cor	Verde	Amarelo	Branco	Azul	Vermelho	Violeta	Marrom	Rosa	Preto	Cinza	Laranja	Agua

Cores dos tubos												
No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cor	Verde	Amarelo	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural	Natural

Fonte: PRYSMIANGROUP, 2016.

Figura 51 – Características físicas dos cabos de acordo o tamanho máximo do vão e número de fibras ópticas.

Vão 80											
Nº de Fibras	2 a 12	18 a 36	48 a 60	72	84	96	108	120	132	144	
FO / Tubo	2	6						12			
Espessura Capa	mm							1,5 (nominal)			
Diâmetro	mm	9,1	9,1	10,1	11,0	12,7	12,7	14,4	14,6	16,1	16,1
Peso líquido	kg/km	67	68	79	97	125	126	171	172	205	206

Vão 120											
Nº de Fibras	2 a 12	18 a 36	48 a 60	72	84	96	108	120	132	144	
FO / Tubo	2	6						12			
Espessura Capa	mm							1,5 (nominal)			
Diâmetro	mm	9,2	10,1	10,2	11,1	13,2	13,2	15,1	15,1	16,2	16,2
Peso líquido	kg/km	68	81	81	98	129	130	171	172	208	209

Vão 200											
Nº de Fibras	2 a 12	18 a 36	48 a 60	72	84	96	108	120	132	144	
FO / Tubo	2	6						12			
Espessura Capa	mm							1,5 (nominal)			
Diâmetro	mm	9,2	10,6	10,9	11,9	13,5	13,5	15,4	15,4	16,9	16,9
Peso líquido	kg/km	69	85	87	107	134	135	177	178	215	216

Fonte: PRYSMIANGROUP, 2016.

A caixa de distribuição (CDO) e a caixa de atendimento (CTO) que serão utilizados no projeto são fabricados pela *EasyLink*, sendo as seguintes: caixa CDO GT010 com *splitter 1:4* e caixa CTO FDB-GTPA08 com *splitter 1:8* (Figura 52).

Figura 52 – a) Caixa CDO e b) Caixa CTO.



Fonte: WDCNET, 2018.

O cabo utilizado entre a caixa CTO e a ONU é chamado de cabo *drop* e ele também deve seguir o padrão utilizado do projeto, visto que os núcleos da fibra devem ser iguais. Nesse caso, o cabo *drop* também deve ser monomodo. O cabo *drop* utilizado neste projeto é fabricado pela *Overtek* e suas características estão descritas na Figura 53.

Figura 53 – Características cabo *drop* Overtek.

LOTE: SKD981B2MZ	
NOME DO PRODUTO	CABO DE FIBRA DROP FLAT
ATENUAÇÃO	@1310nm $\leq 0.36\text{dB/km}$
	@1550nm $\leq 0.22\text{dB/km}$
COMPRIMENTO(M)	1000
DATA DE PRODUÇÃO	September-2017

Fonte: Autor.

A ONU escolhida é fabricada também pela *FiberHome* modelo AN5506-04-F (Figura 54) que possui compatibilidade com a tecnologia GPON e OLT escolhida e também possui Wi-

Fi (não são todos os modelos que possuem Wi-Fi, caso não possua deve ser utilizada juntamente com um roteador).

Figura 54 – ONU AN5506-04-F.



Fonte: Autor.

4.2. PROJETO DA REDE PON

4.2.1. Definição do *node* de atendimento

A construção de uma rede é um serviço que demanda muito tempo e organização, podendo durar meses ou até anos dependendo de alguns fatores como o orçamento e números de funcionários da empresa. Durante a instalação da rede, o local de cobertura deve ser dividido em pequenas áreas chamadas *nodes*, uma vez que o processo de implantação e organização da rede é melhor explorada. Nesse caso, cada *node* deve ser construído considerando-se a expansão da rede para os outros *nodes*. Como o objetivo deste trabalho é de apenas apresentar o projeto de uma rede PON FTTH, o projeto de apenas um *node* é mais que o suficiente. Embora as tecnologias GPON e EPON FTTH permitam atingir clientes com um alcance máximo de 20 km, é preferível que a rede cubra uma pequena área de atendimento, pois derivações implicam em atenuações na potência do sinal. Portanto, foi escolhido o centro da cidade como o *node* de atendimento. Para situações com distâncias superiores a 20 km, são necessárias diversas *Central Offices* ou armários (distribuídos estrategicamente na cidade), nos quais são concentradas as OLTs e não somente uma *Central Office*.

A Figura 55 apresenta o *node* de atendimento que será utilizado como base para todos os procedimentos da rede óptica ao longo do projeto. O *software* que irá ser utilizado para desenho da rede é o *Google Earth Pro*, disponível gratuitamente na *internet*.

Figura 55 – Cobertura da rede óptica.



Fonte: Autor.

4.2.2. Definição da largura de banda

A largura de banda disponível, em cada terminação da rede, é determinada com base nas seguintes premissas:

- Largura de banda suportada pela tecnologia GPON: 2,5 Gbps;
- Consideração de consumo de banda larga médio de 10 MB (Tabela 2).

A quantidade de clientes que poderia ser alocada nesta OLT com essa largura de banda seria de 250 pessoas. No entanto, esse cálculo só é verdadeiro se todos os clientes, sem exceção, estiverem utilizando a banda máxima comprada ao mesmo tempo. Portanto, as provedoras conseguem vender planos entre 10 e 100 MB, pois o valor vendido corresponde ao valor máximo que o cliente pode utilizar e não ao valor instantâneo de consumo. Então, dependendo de como a rede está construída e do consumo instantâneo, a quantidade de clientes pode ser dobrada ou triplicada, por exemplo.

4.2.3. Definição da taxa de penetração

Para a definição dos *splitters* que estarão compostos na rede, é necessário definir a taxa de penetração da rede. A taxa de penetração é a relação entre a quantidade de pontos de atendimento que a rede deseja atender e a quantidade de pontos de atendimento existentes no local. A Tabela 14 apresenta os pontos de atendimento considerando o *splitter* utilizado em função da taxa de penetração escolhida.

Tabela 14 – Pontos de atendimento em função da taxa de penetração.

	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %	40 %	50 %	60 %	80 %	100 %
1:8	80	53	40	32	27	20	16	13	10	8
1:16	160	107	80	64	53	40	32	26	20	16

Fonte: Autor.

A OLT escolhida possui 16 portas GPON com capacidade de 1024 clientes. Nesse caso, cada porta poderia atender até 64 clientes (WDCNET, 2018). A rede óptica deste projeto será projetada considerando um sistema com uma taxa de penetração de cerca de 50 % (Tabela 14) e com 150 clientes já cadastrados. Caso esse *node* esteja perto de completar todos os pontos de atendimento previstos nas caixas CTOs durante o projeto da rede e ainda existam clientes em potencial dentro do *node*, o sistema estará preparado para aumentar a taxa de penetração de 50 % para 100 %. Essa expansão da rede será possível pois será disponibilizada uma fibra óptica extras em cada CTO para a criação de outro *splitter* 1:8 ou então para a colocação de outra caixa CTO.

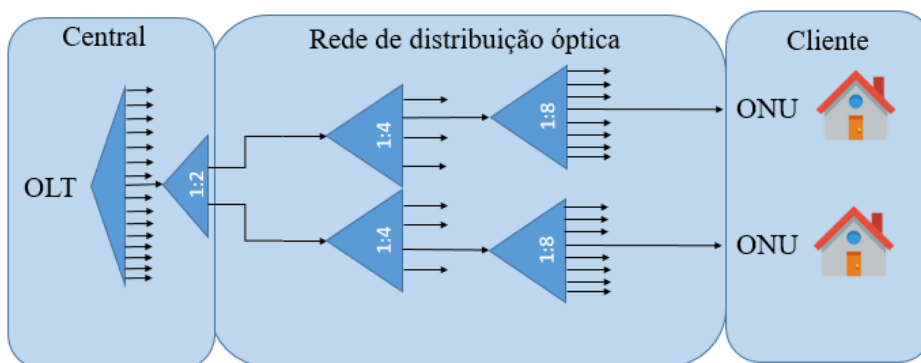
4.2.4. Definição do Split Rate

A organização dos *splitters* da rede está ilustrada na Figura 56, totalizando 5 por porta da OLT. Do total de *splitters*, um está instalado na central (1:2) e quatro na ODN (dois 1:4 e dois 1:8), atendendo um total de 64 clientes por porta da OLT. O *splitter* 1:4 está contido na caixa de distribuição óptica (CDO) e o *splitter* 1:8 está contido na caixa de terminação óptica (CTO).

A utilização do *splitter* 1:2, que está contido no DIO, torna possível uma maior economia de portas da OLT. Além disso, quando a largura de banda para estes 64 clientes estiver perto do limite, o mesmo pode ser retirado e uma das fibras restantes pode ser inserida

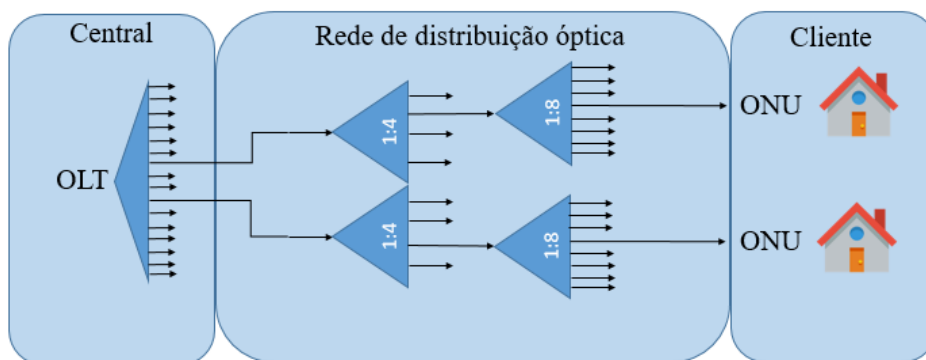
em outra porta PON da mesma ou de outra OLT. Nessas circunstâncias, para atender os 64 clientes, serão necessárias 2 portas da OLT, cada uma com 32 clientes (Figura 57). Caso as portas da OLT estejam sendo utilizadas, será necessário a aquisição de uma nova OLT para inserir os clientes da OLT antiga.

Figura 56 – Demonstração da razão de divisão dos *splitters*.



Fonte: Autor.

Figura 57 – Demonstração da razão de divisão dos *splitters* no futuro.



Fonte: Autor.

4.2.5. Cálculo do *power budget*

A partir dos dados obtidos até agora, é possível realizar o cálculo do *power budget* do sistema considerando os seguintes parâmetros:

- Atenuação por fusão (0,1 dB), par de conectores (0,75 dB) e margem de segurança (3dB) a partir da Tabela 9;
- Atenuação *splitter* 1:2 (3,4 dB), 1:4 (6,8 dB) e 1:8 (10,2) a partir da Tabela 10;

- Atenuação de fibra óptica monomodo G.652D 1310 nm (0,38 dB/km) a partir da Tabela 13 (utilizou-se o comprimento de onda em 1310 nm pois é a região onde ocorre a maior perda);
- Atenuação da fibra óptica *Drop* 1310 nm (0,36 dB/km) e 1550 nm (0,22 dB/km) a partir da Figura 53;
- OLT *FiberHome* AN5516-05 Classe B+/C (Tabela 12) com *Link power budget* de até 30 dB (Tabela 11);
- Comprimento máximo do cabo óptico de 5 km (considerando-se que o cabo será aproveitado para outros *nodes*);
- Considerou-se uma potência mínima de transmissão do OLT de 3,5 dBm e uma sensibilidade mínima do ONU de -26 dBm (configuráveis por *software*). Estes valores foram escolhidos levando-se em consideração os intervalos de potência dos receptores ópticos de classe C. O *power budget* disponível é de 29,5 dB (menor que os 30 dB suportados pela classe C).

A partir da equação 3, calculou-se o *link loss budget* (LLB) para saber qual a máxima atenuação possível para o sistema, como segue:

$$LLB (dB) = (0,38 \times 5) + (0,36 \times 0,1) + (2 \times 0,75) + 3,4 + 6,8 + 10,2 + (5 \times 0,1) \cong 24,3 \text{ dB} \quad (4)$$

De acordo com a equação 4, percebe-se que, mesmo ao considerar uma distância de 5 km, o *link loss budget* não apresenta risco ao funcionamento da rede. Os 29,5 dB disponíveis não serão totalmente utilizados, serão utilizados apenas 24,3 dB e os outros 5,2 dB restantes podem ser considerados como de margem de segurança.

O sistema projetado, mesmo em suas piores condições, consegue operar com uma margem de segurança de 5,2 dB, ou seja, o que o torna imune aos problemas relacionados às atenuações de sinal. Caso a potência entregue à ONU seja elevada demais, pode-se utilizar um atenuador de sinal para que a ONU consiga operar com segurança.

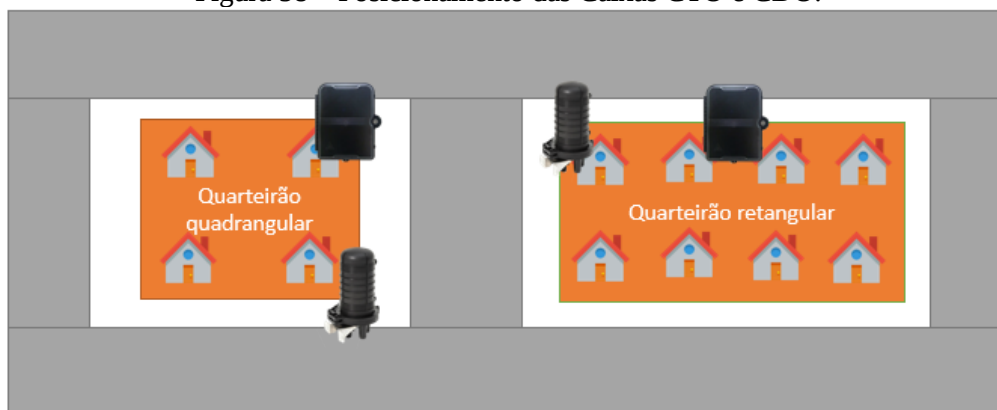
4.2.6. Posicionamento das Caixas CTOs e CDOs

O posicionamento das caixas CTOs e CDOs depende da forma geométrica do quarteirão. Em quarteirões com formatos quadrangulares, o posicionamento das caixas é melhor distribuído caso ambas estejam localizadas nas esquinas. Em quarteirões com formatos

retangulares, a situação muda em relação às caixas CTOs, para estas, o posicionamento mais adequado seria ao meio da rua, conforme ilustrado na Figura 58.

O correto posicionamento das caixas CTOs proporciona um comprimento menor para os cabos tipo *drop*. Caso o cabo *drop* seja utilizado para corrigir falhas de projeto (caixas CTO mal posicionadas), o custo da rede pode aumentar em algumas ocasiões, exigindo que o projetista realize os cálculos de custos adicionais.

Figura 58 – Posicionamento das Caixas CTO e CDO.



Fonte: Autor.

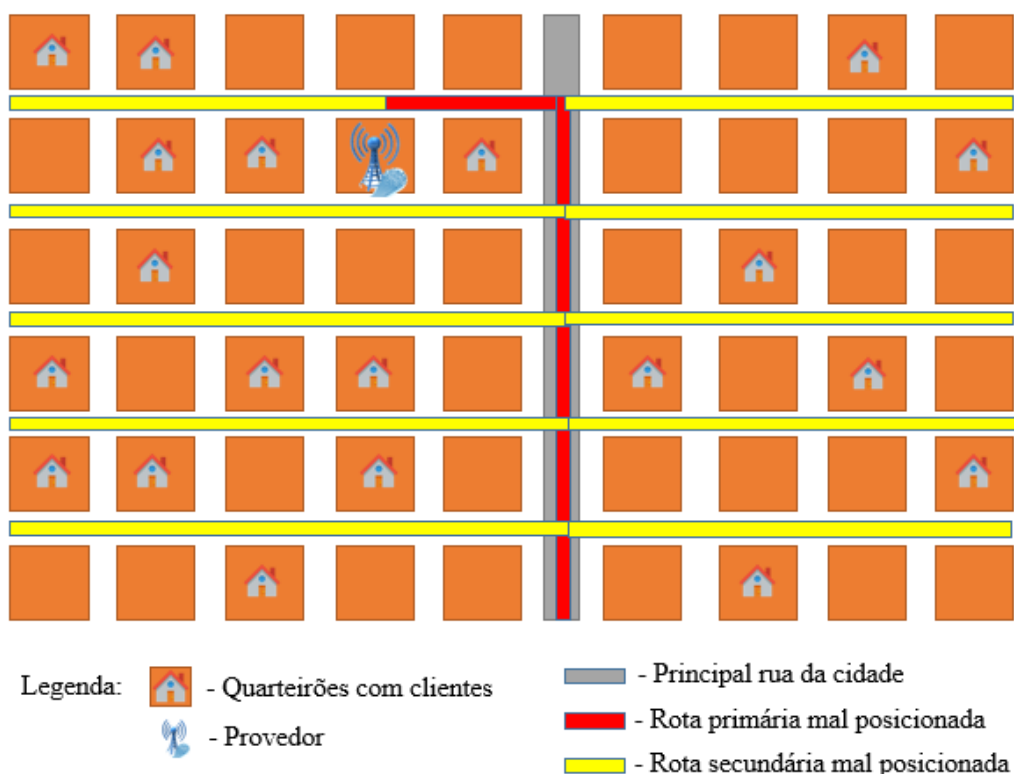
4.2.7. Desenho das rotas primária e secundária

A rota primária é a rede responsável por atravessar os locais de maior densidade de clientes (geralmente próxima às caixas de distribuição óptica). Já a rota secundária é a rota que se deriva da primária, a qual engloba as caixas de distribuição e de terminação óptica. A necessidade da diferenciação das rotas primária e secundária surge da necessidade de uma maior organização e documentação da rede óptica por parte da provedora de *internet*. Uma vez que isso exista, a manutenção e a detecção de falhas na rede óptica são resolvidas de maneira mais eficiente.

Alguns projetistas de redes ópticas cometem o erro de inserir a rede primária antes de compreender o desenho da rede secundária e a demanda de clientes na região. Por exemplo, se a rede primária estiver mal posicionada, custos adicionais serão demandados para o projeto da rede óptica. A Figura 59 ilustra um mal dimensionamento da rede óptica, na qual o projetista escolheu posicionar a rota primária na principal rua da cidade sem considerar a densidade de clientes. A rota secundária foi posicionada de tal maneira que não houve otimização na distribuição da rede, causando gastos desnecessários. A Figura 60 ilustra um bom

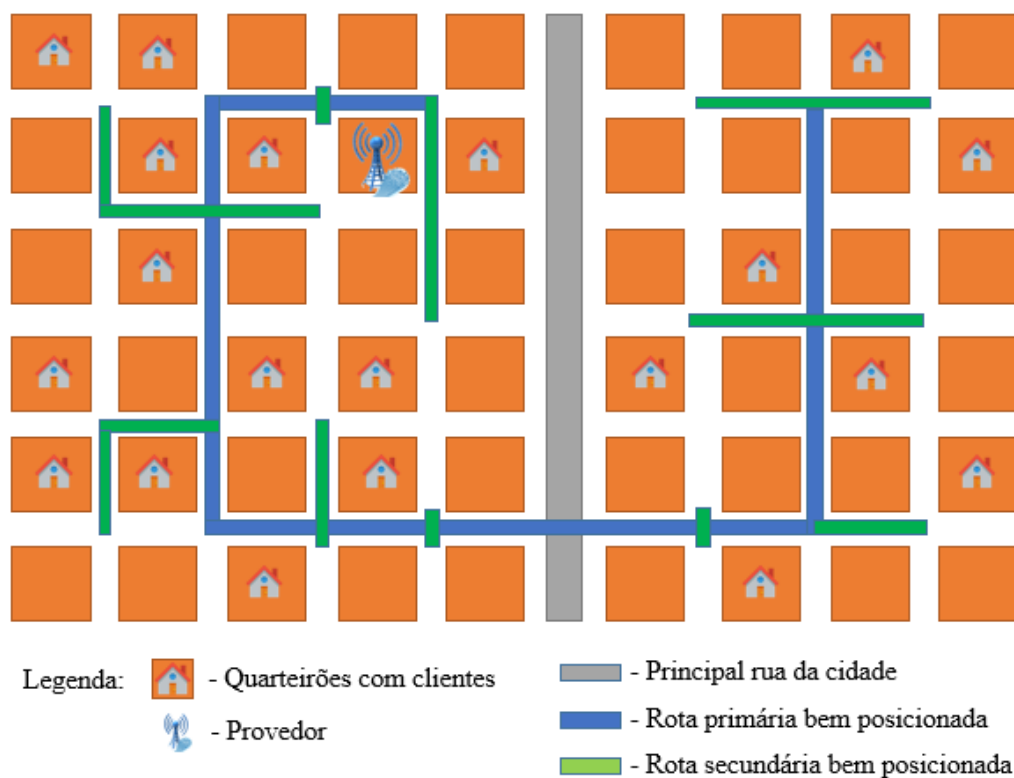
dimensionamento da rede óptica, na qual a rota primária atravessa o local de maior densidade de clientes. A rede secundária da Figura 60 foi bastante otimizada em relação à rede secundária da Figura 59, uma vez que o tamanho dos cabos de fibra óptica necessários para atender todos os bairros foram extremamente reduzidos.

Figura 59 – Rota primária e secundária mal posicionadas.



Fonte: Autor.

Figura 60 – Rota primária e secundária bem posicionadas.



Fonte: Autor.

4.2.8. Postejamento

Após realizar o desenho do projeto, é necessário ir a campo para anotar quais postes serão utilizados na construção da rede. A Figura 61 ilustra o local do poste que possui sua identificação.

Figura 61 – Identificação do poste.



Fonte: Autor.

Após o levantamento dos postes, é necessário enviar para a concessionária de energia do estado o projeto da rede e os postes que serão utilizados. Caso a concessionária não aceite o projeto e exija algumas mudanças, o engenheiro responsável terá que adequar o projeto para a construção da rede.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. DESENHO DA REDE PON

Após a definição da cobertura da rede óptica (Figura 55), delimitou-se, usando o *software Google Earth Pro*, o local para a instalação do provedor de *internet* (Figura 62).

Figura 62 – Localização do provedor de *internet*.



Fonte: Autor.

Com a localização do provedor estabelecida, inseriu-se os pontos de atendimento essenciais para o início do projeto da rede PON. Admitiu-se que, inicialmente, a rede óptica supriria a demanda de 150 pontos de atendimento, os quais estão ilustrados na Figura 63.

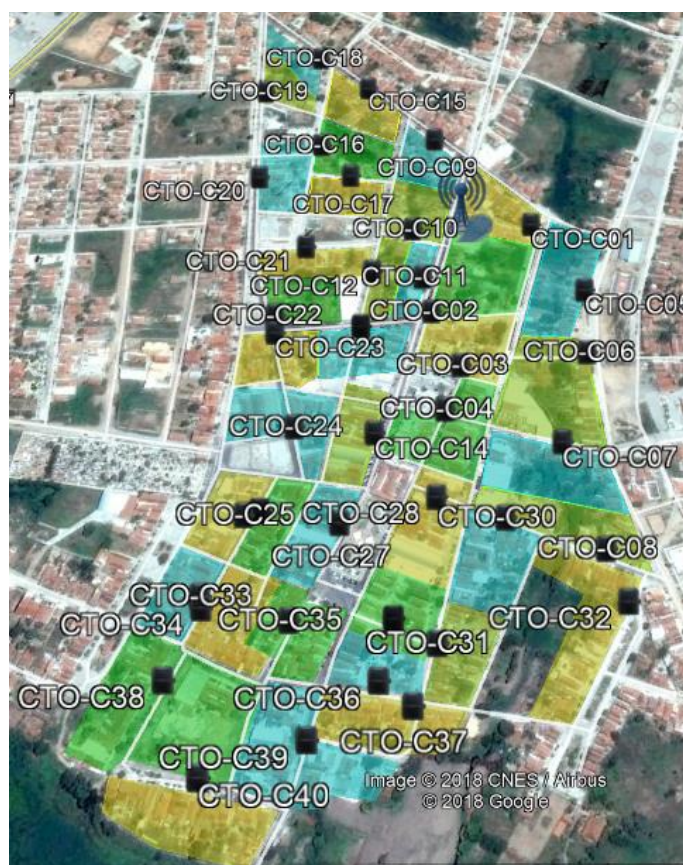
Figura 63 – Distribuição dos pontos de atendimento já cadastrados na região.



Fonte: Autor.

Após a escolha dos pontos de atendimento, pôde-se desenhar a distribuição e o alcance das caixas de terminação óptica no *node* de atendimento (Figura 64), tendo em vista a taxa de penetração de 50 %. Na Figura 64, os alcances de trabalho, para cada CTO, são ilustrados com diferentes cores com o intuito de melhorar a visualização da rede. Após o projeto das CTOs, levando-se em consideração a taxa de penetração da rede, concluiu-se que o número de 40 unidades de CTOs seria o suficiente para suprir a demanda (Figura 64).

Figura 64 – Distribuição e alcance de cada caixa de terminação óptica (CTO).

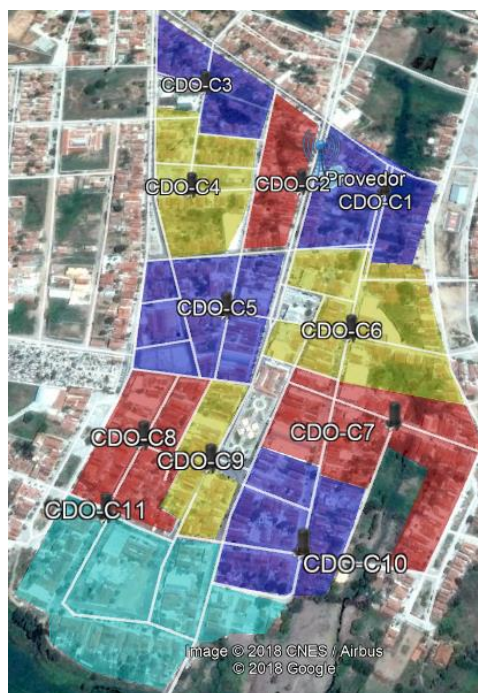


Fonte: Autor.

As maneiras de projetar as CTOs e CDOs são quase idênticas, porém, ao invés de conectar pontos de atendimento à rota secundária, as CDOs conectam caixas de terminação óptica à rota primária (em alguns casos podem ser conectados à secundária, conforme ilustrado na Figura 68). Conforme definido na seção 4.2.4, as CDOs conectam 4 CTOs à rota primária e as CTOs conectam 8 pontos de atendimento à rota secundária. A Figura 65 ilustra a distribuição e o alcance das caixas de distribuição óptica, que ao final do projeto, possuem 11 unidades.

A partir do projeto dos *splitters* definido na Figura 56, a utilização de 11 unidades de caixa de distribuição ópticas requer 6 portas PON da OLT, considerando a taxa de penetração inicial de 50 %, totalizando 352 pontos de atendimento.

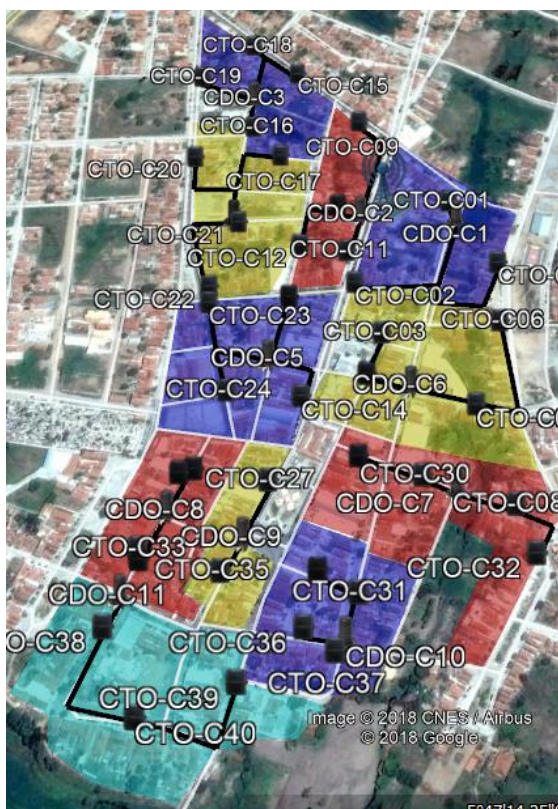
Figura 65 – Distribuição e alcance de cada caixa de distribuição óptica (CDO).



Fonte: Autor.

A primeira rota a ser desenhada foi a rota que conecta as caixas de distribuição óptica às caixas de terminação óptica, as quais pertencem à rota secundária (Figura 66). Após isso, foi traçada a rota primária nos locais com maior densidade de pontos de atendimento, ou seja, cruzando os locais mais próximos das caixas de distribuição óptica (Figura 67). Ao analisar a Figura 67, percebe-se que as áreas que representam o alcance das CDOs e as rotas traçadas na Figura 66 estão apagadas, de modo a facilitar a compreensão do desenho da rota primária. Ainda em relação à Figura 67, nota-se que algumas CDOs estão distantes da rota primária. Para resolver este problema, outras rotas são projetadas, as quais estão ilustradas na Figura 68. A Figura 69 ilustra o desenho das rotas primária e secundária finalizadas. A Figura 70 ilustra um *zoom* da região sul do *node*, que apresenta a rede óptica de forma mais completa.

Figura 66 – Desenho da rota secundária entre as caixas CTOs e CDOs (linhas pretas).



Fonte: Autor.

Figura 67 – Desenho da rota primária (em vermelho) nos locais com maior densidade de pontos de atendimento.



Fonte: Autor.

Figura 68 – Desenho da rota secundária entre a rede primária e as caixas CDOs restantes.



Fonte: Autor.

Figura 69 – Desenho da rota primária e secundária finalizados.



Fonte: Autor.

Figura 70 – Desenho da rede óptica com demonstração dos pontos de atendimento e alcance das caixas CTO.



Fonte: Autor.

5.2. CONEXÕES INTERNAS À REDE PON

A implantação de projeto de uma rede PON não pode ser realizada apenas com o desenho da rede, também é necessário que exista um projeto das conexões entre os componentes existentes na rede. A Figura 71 ilustra como são realizadas as conexões entre as caixas de distribuição e a de terminação óptica, em que cada CDO recebe duas fibras ópticas (uma utilizada e outra reserva) e cada uma passa por um *splitter* 1:4. Já a CTO recebe duas fibras ópticas (uma utilizada e outra reserva) e cada uma passa por um *splitter* 1:8. Vale ressaltar que as fibras ópticas (F.O.) reservas existem para que seja possível a ampliação da taxa de penetração de 50 para 100 %.

Os fabricantes possuem cabos com quantidades variáveis de F.O., conforme observado na Figura 51. Porém, alguns valores são mais comerciais como 12, 24 e 36 fibras ópticas por cabo, por exemplo. Apesar de o valor projetado ser igual à 8 F.O. na Figura 71, o valor de 12 F.O. por cabo é um valor mais comercial e por isso será utilizado no projeto.

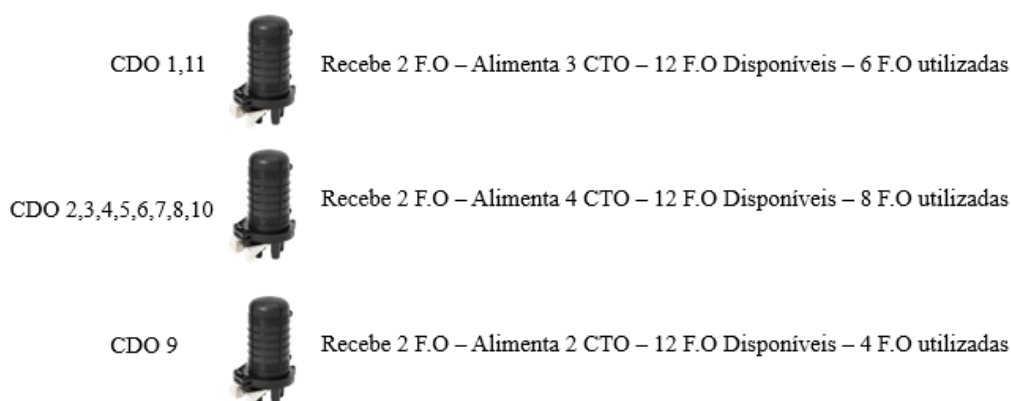
Figura 71 – Método de conexão e distribuição de fibras ópticas entre as CDOs e CTOs.



Fonte: Autor.

Embora cada CDO possua capacidade de conexão de até quatro CTOs, algumas CDOs apresentaram 2 ou 3 conexões devido à geografia da região. As CDOs 1 e 11 utilizaram apenas 3 *splitters* e a CDO 9 utilizou apenas 2 *splitters*, enquanto que o resto das CDOs foram utilizadas em sua totalidade. A Figura 72 ilustra a utilização de cada caixa de distribuição óptica no projeto da rede PON.

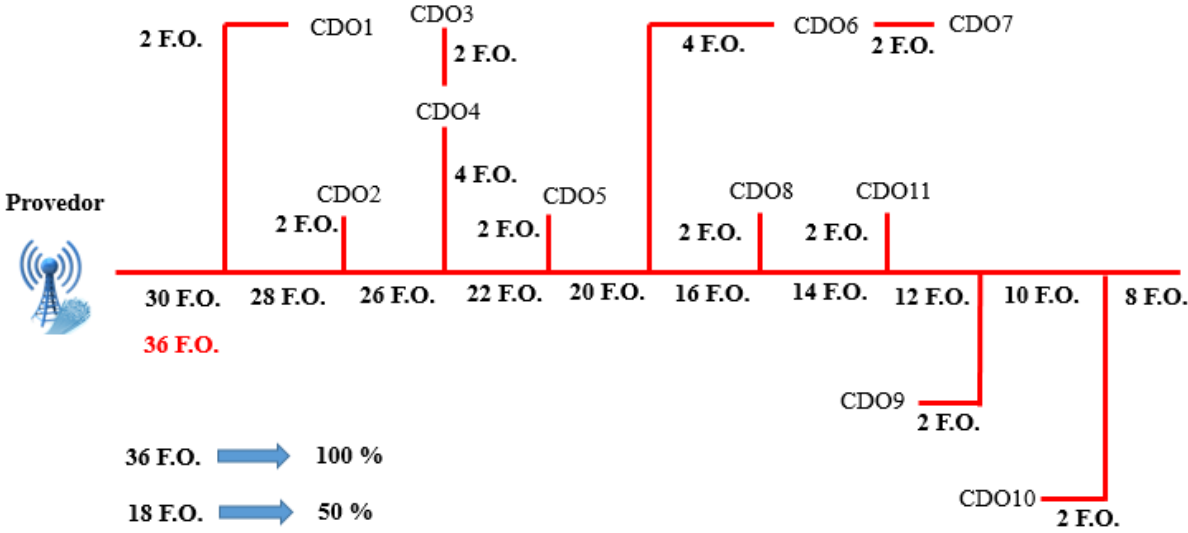
Figura 72 – Utilização de cada CDO projetada.



Fonte: Autor.

Após compreender a quantidade de fibras ópticas necessárias em cada CDO e a maneira com a qual estão distribuídas as rotas primária e secundária, pode-se desenhar o esquema de conexão de cada ponto da rede óptica, conforme ilustrado na Figura 73. Resultando na utilização de 30 fibras ópticas na saída do provedor de *internet*, mas como 30 F.O. não é um valor comercial, utilizou-se um cabo com 36 fibras ópticas.

Figura 73 – Esquema de conexão de cada ponto da rede óptica.



Fonte: Autor.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho desenvolveu-se um projeto de rede de fibra óptica FTTH no centro da cidade de Caraúbas-RN. Para tal finalidade, inicialmente realizou-se uma pesquisa bibliográfica sobre redes de acesso ópticos, especificamente sobre redes ópticas passivas (PON). Para o projeto da rede, foi necessário definir a banda alocada necessária para atender uma residência e o orçamento de potência da rede. Com isso, pôde-se realizar o desenho de cada parte da rede, desde o posicionamento de cada CTO, CDO, rota secundária e rota primária.

A rede PON FTTH baseada na tecnologia GPON foi escolhida pois ela é o tipo de rede que possui o melhor custo-benefício em distribuição de *internet*. Dado que a *internet* banda larga via fibra óptica possui um potencial de crescimento muito alto dentro e fora do Brasil, é fundamental que exista um profissional qualificado para suprir esta demanda, ou seja, capaz de projetar cada aspecto da rede óptica.

O consumo médio calculado para a rede óptica a ser construída foi de 10 Mb por residência, porém, é necessário enfatizar que larguras de bandas maiores podem ser vendidas, dependendo do consumo de banda na região. Adotou-se uma taxa de penetração de 50 % para a instalação das caixas de terminação óptica. A rede projetada possui um *power budget* excelente, apesar de considerar uma rede com comprimento máximo de 5 quilômetros, ela possui uma margem de segurança de 5,2 dB, suficientes para prováveis ampliações da rede óptica. Portanto, 40 caixas de terminação óptica e 11 caixas de distribuição óptica foram dimensionadas. Dessas 11 caixas de distribuição, 8 demandaram todo o *splitter* 1:4, 2 caixas demandaram três portas do *splitter* 1:4 e uma caixa demandou apenas duas saídas do *splitter* 1:4. O motivo das caixas de distribuição 1,9 e 11 não serem totalmente utilizadas é uma consequência direta à geografia da região. Como foi dimensionado 11 CDOs, foram utilizadas 6 das 16 portas PON da OLT, totalizando o alcance inicial de 352 pontos de atendimento.

Conforme abordado em todo o trabalho, utilizou-se uma topologia de rede em árvore e enfatizou-se o uso da tecnologia GPON na OLT e ONU. Para trabalhos futuros pretende-se:

- Projetar outros *nodes* de atendimento na cidade de Caraúbas-RN;
 - Utilizar tecnologia 10G-PON;
 - Projetar redes com topologias híbridas e diferentes técnicas de múltiplo acesso em uma mesma rede.
-

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

- ABRAMS, M. et al. **FTTP Deployments in the United State and Japan-Equipament Choices and Service Provider Imperatives**. Journal of Lightwave Technology. 2005. p. 236.
- ALMEIDA, A. S. **Fibra Óptica na Rede de Acesso – Implicações nos Edifícios**. Universidade de Aveiro. Aveiro. 2009.
- ARBIETO, C. O. C. **Alocação dinâmica de largura de banda em redes EPON**. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos. 2007.
- BERNAL FILHO, H. Teleco. **Meios de Acesso à Internet**, 2013. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialmeiosip/default.asp>>. Acesso em: 24 maio 2018.
- BONILLA, M. L. **Redes Ópticas de Acesso de Alta Capacidade**, 2008. Disponível em: <<http://media.utp.edu.co/crie/archivos/documentos/presentacion-utp.pdf>>. Acesso em: 16 jul. 2018.
- CARMEN, O.; CARRASCO, A. **Alocação Dinâmica De Largura De Banda em Redes EPON**. Simpósio Brasileiro de Telecomunicações – SBRT 2007. 2007. p. 1- 6.
- CARVALHO, T. J. M. **Uso das camadas físicas e de acesso para mapeamento de redes PON**. Universidade de Aveiro. Aveiro, p. 64. 2009.
- CISCO. **Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology**, 2016–2021, 2017. Disponível em: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/complete-white-paper-c11-481360.html#_Toc484813985>. Acesso em: 05 jul. 2018.
- CONDUFIBRA. **Diferença entre fibra ótica monomodo (SM) e multimodo (MM)**, 2017. Disponível em: <<https://www.condufibra.com.br/diferenca-entre-fibra-otica-monomodo-e-multimodo/>>. Acesso em: 10 jul. 2018.
- DINO. Exame. **Segundo projeção, até 2020 cerca de 50 bilhões de dispositivos estarão conectados à internet**, 2017. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/negocios/dino/segundo-projecao-ate-2020-cerca-de-50-bilhoes-de-dispositivos-estara-conectados-a-internet/>>. Acesso em: 25 maio 2018.
- ELER, E. D. O. Teleco. **Modelo TMN: Aplicação ao Gerenciamento de Redes de Telecomunicações**, 2015. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialmodelotmn/default.asp>>. Acesso em: 04 jul. 2018.
- FÉLIX, M. **Como Montar Um Provedor De FIBRA ÓTICA (FTTH) FÁCIL 2018**, 2018. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=uDvRQUz3JqM&index=24&list=WL>>. Acesso em: 08 ago. 2018.
- FERREIRA, R. J. L. Teleco. **Redes Ópticas Passivas I: Multiplexação por Divisão no Tempo (TDM-PON)**, 2011. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/pdfs/tutorialropassiva1.pdf>>. Acesso em: 16 jul. 2018.
-

FIBERHOMEGROUP. **FiberHome® Fiber Products**, 2013. Disponível em: <<http://www.fiberhomegroup.com/es/UploadFiles/Files/admin/201311/Fiber%20Products%20Series.pdf>>. Acesso em: 07 ago. 2018.

FIBERWAN. **Como é o processo de “emenda de uma fibra ótica” e por que ele é complexo, às vezes demorado?**, 2013. Disponível em: <<http://www.fiberwan.com.br/como-e-o-processo-de-emenda-de-uma-fibra-optica-e-por-que-ele-e-complexo-as-vezes-demorado/>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

FOULI, K.; MAIER, M. **OCDMA and optical coding**: Principles, applications, and challenges. IEEE Communication Magazine. 2007. p. 27-34.

GONÇALVES, C. M. **GPON/FTTH**. Universidade da Madeira. Funchal. 2009.

GUTIERREZ, D. et al. **FTTH Standards, Deployments and Research Issues**. 8th Jint Conference on Information Sciences; Symposium on Photonics, Networking and Computing, session: PNC-5 Optical Communication. Julho 2005. p. 1358-1361.

ISPBLOG. **Processos de emendas em fibras ópticas**, 2016. Disponível em: <<https://www.ispblog.com.br/2016/07/08/processos-de-emendas-em-fibras-opticas/>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

KARAFOLAS, N.; UTTAMCHANDANI, D. **Optical fiber code division multiple access networks**: A review. Optical Fiber Technology. 1996. p. 149–168.

KEISER, G. **FTTX Concepts and applications**. 1. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc, v. 1, 2006.

KEISER, G. **Comunicações Por Fibras Ópticas**. 4. ed. Porto Alegre: McGraw Hill Brasil, 2014.

KRAMER, G.; MUKHERJEE, B.; PESAVENTO, G. **Ethernet PON (EPON)**: Design and Analysis of an Optical Access Network. Photonics Network Communications. 2001. p. 307-319.

KRAMER, G.; PESAVENTO, G. Ethernet Passive Optical Network (EPON): Building a Next-Generation Optical Access Network. **IEEE Communications Magazine**, v. 40, p. 66-73, Fevereiro 2002.

LAGE, L. B.; OLIVEIRA, M. C. A. **Estudo de uma Rede de Acesso Via Fibra Óptica**. Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília. 2006.

LAM, C. F. **Passive Optical Network**: Principles and Practice. San Diego: Elsevier Inc, 2007.

LEE, C.-H.; SORIN, W. V.; KIM, B. Y. **Fiber to the Home Using a PON Infrastructure**. J. Lightwave Technol. 2006. p. 4568-4583.

LEINER, B. M. **Brief History of the Internet**. 1. ed. Reston: Internet Society, 1997.

LIVRE, M. **Onu An5506-01a Mini**, 2018. Disponível em:
<https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1057323762-onu-an5506-01a-mini-faz-bridge-ppoe-pacote-com-30-unid-_JM>. Acesso em: 13 jul. 2018.

LOPES, S. C. N. **Fibra Óptica na Rede de Acesso: Cenários de Evolução**. Universidade de Aveiro - Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática. Aveiro, p. 181. 2011.

MADEIRA, A. V. Stconsulting. **Fibras Ópticas – Características e os principais tipos**, 2011. Disponível em: <<http://www.stconsulting.com.br/telecom/fibras-opticas-%E2%80%93-do-conceito-a-aplicacao-%E2%80%93-parte-2-tipos-fibras-e-cabos#.W0VTu9JKjIU>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

MGN. **ONU FIBERHOME GPON AN5506-04-FG(B)**, 2018. Disponível em:
<<http://www.mgnt.com.br/produto/onu-fiberhome-gpon-an5506-04-fg-b-4ge-2pots-wifi/41676>>. Acesso em: 13 jul. 2018.

MULLER, J. Cianet. **O futuro das redes PON**, 2016. Disponível em:
<<https://www.cianet.com.br/o-futuro-das-redes-pon-tendencias-de-mercado/>>. Acesso em: 24 maio 2018.

NERI, F.; FINOCHIETTO, J. **Passive Optical Networks**, 2013. Disponível em:
<http://materias.fi.uba.ar/7543/download/PON_e1-jorge_finochietto.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2018.

NETFLIX. **Recomendações de velocidade da conexão à Internet**, 2018. Disponível em:
<<https://help.netflix.com/en/node/306>>. Acesso em: 04 jul. 2018.

NUNES, E. D. S. **Projeto de Redes de Fibra Ótica**. Escola Superior de Tecnologia e Gestão. Leiria, p. 72. 2016.

OLIVEIRA, F. A. D. D.; RIBEIRO, M. N. F.; FERREIRA, W. L. G. **Uso De Ferramentas De Georreferenciamento Para Avaliação Da Condição Superficial De Pavimentos Urbanos**. Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transporte. Recife, PE, p. 11. ISSN s.n. 2017.

OLIVEIRA, P. B. D. **Soluções de Atendimento em Fibra Óptica I**, 2014. Disponível em:
<<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutoriaisolfo1/default.asp>>. Acesso em: 13 jul. 2018.

ONATE, I. **Atenuadores**, 2011. Disponível em:
<<https://www.instaladoresdetelecomhoy.com/atenuadores/>>. Acesso em: 11 jul. 2018.

PEREIRA, R. **Emissores e receptores ópticos**, 2008. Disponível em:
<https://www.gta.ufrrj.br/grad/08_1/wdm1/Emissoresereceptorespticos.html>. Acesso em: 13 jul. 2018.

PERROS, H. G. **Connection-oriented networks: SONET/SDH, ATM, MPLS, and optical networks**. JohnWiley & Sons, 2005.

PLA, J. S. A. **DESIGN OF PASSIVE OPTICAL NETWORK**, 2011. Disponível em: <https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=42988>. Acesso em: 2018 jul. 17.

PRYSMIANGROUP. **Cabo Óptico Aéreo Dielétrico Autossustentado**, 2016. Disponível em: <https://br.prysmiangroup.com/sites/default/files/atoms/files/Cat%C3%A1logo_Prysmian_CF_OA-SM-AS200-S%20002-144FO%20NR%20KP.pdf>. Acesso em: 09 ago. 2018.

RIBEIRO, R. V. **Passive Optical Network (PON)**, 2008. Disponível em: <http://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2008_2/rafael_ribeiro/index.html>. Acesso em: 24 maio 2018.

RITCHIE, W. K.; STERN, J. R. **BT Telecommunications series: Telecommunications Local Network**. 1. ed. London: Chapman & Hall, 1993.

RODRIGUES, M. O. **Fibras Ópticas de Plástico em redes de Acesso**. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa, p. 124. 2013.

SACHS, A. D. C. **Dispersão Cromática**, 2012. Disponível em: <<http://comofunciona2.blogspot.com/2012/02/como-funciona-dispersao-cromatica.html>>. Acesso em: 12 jul. 2018.

SANTOS, A. F.; ROSSI, S. M.; CÉSAR, A. C. **Algoritmo de Alocação Dinâmica de Banda para Rede Óptica de Acesso GPON**. XXVII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, ISBN 978-85-89748-05-6. Blumenau – SC. 2009.

SANTOS, C. **Redes de acesso avançadas**. Universidade de Aveiro. Aveiro, p. 102. 2012.

SUZANNE. Montana BiblioTechies. **How much bandwidth do I need to stream Internet TV?**, 2014. Disponível em: <<http://mtbibliotechie.blogspot.com/2014/12/how-much-bandwidth-do-i-need-to-stream.html>>. Acesso em: 04 jul. 2018.

TARANTOLA, A. Gizmodo. **A fibra óptica mais rápida do mundo aguenta dados de uma internet inteira.**, 2014. Disponível em: <<https://gizmodo.uol.com.br/a-fibra-otica-mais-rapida-do-mundo-aguenta-os-dados-de-uma-internet-inteira/>>. Acesso em: 24 maio 2018.

TECH-FAQ. **MTBF (Mean Time Between Failures)**, 2013. Disponível em: <<http://www.tech-faq.com/mtbf.html>>. Acesso em: 12 jul. 2018.

TPUB. Intergrated Publishing. **FIBER OPTIC COUPLERS**, 2018. Disponível em: <<http://www.tpub.com/neets/tm/108-11.htm>>. Acesso em: 12 jul. 2018.

VILLALBA, T. V. **Distribuição de divisores ópticos de potência em redes ópticas passivas utilizando algoritmo genético**. EESC - Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, p. 86. 2018.

WDCNET. **OLT Fiberhome AN5516-04 DC**, 2018. Disponível em: <<http://www.wdcnet.com.br/produto/fiberhome-olt-an-5516-04-dc/>>. Acesso em: 12 jul. 2018.

WHAT Internet speed is right for me? **Abbmissouri**, 2018. Disponivel em:
<<https://www.abbmissouri.com/news-resources/speedneeds/>>. Acesso em: 05 jul. 2018.

WOODWARD, B.; HUSSON, E. B. **Fiber Optics Installer and Technician Guide - San Francisco**. London: Sybex, 2005.

YAMAMOTO, H. et al. **Increasing Acceptable Number of signals in Subcarrier Multiple Access Optical networks in the presence of high optical beat interference**. Journal of Lightwave Technology, 1999.
