



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
CAMPOS PATOS DE MINAS

LUIZ AUGUSTO FERREIRA

ESTUDO DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE UMA REDE FTTH

Patos de Minas

2018

LUIZ AUGUSTO FERREIRA

ESTUDO DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE UMA REDE FTTH

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, campus Patos de Minas, como parte das exigências para a obtenção do Bacharelado em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Luiz Lima Bertarini

Co-Orientador: Peterson Elizandro Gandolfi

Patos de Minas

2018

ESTUDO DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE UMA REDE FTTH

Trabalho de conclusão de curso aprovado para obtenção do título de Bacharelado em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações da Universidade Federal de Uberlândia (MG) pela banca examinadora formada por:

Prof. Dr. Pedro Luiz Lima Bertarini

Prof. Dr. Peterson Elizandro Gandolfi

Prof. Dr. André Luiz Aguiar da Costa

Prof. Ms. Priscila Crisfir Almeida Diniz

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, por todas as oportunidades que tive até chegar aqui neste momento. Foram muitos obstáculos superados ao lado Dele.

Agradeço aos meus pais, Dionizio Luiz Ferreira e Vilma Gonçalves de Melo Ferreira, que durante todo esse tempo sempre foram um porto seguro onde eu sempre encontrei o conforto e o suporte para seguir em frente neste caminho. Aos meus irmãos Pedro Henrique Ferreira e Maria Luiza Ferreira, pelo companheirismo e amizade desde sempre e para sempre. À minha namorada Ingrid Santos e Silva, que por todos esses anos acompanha mais do que de perto essa minha trajetória, sempre me apoiando.

Agradeço a todos os colegas e amigos que estiveram aqui comigo. Foram muitas noites em claro, seja em festa, seja nos estudos, que deixaram memórias que jamais esquecerei. Foi um prazer caminhar ao lado de vocês.

Agradeço a todos os professores da Universidade Federal de Uberlândia, *campus* Patos de Minas, por todo o conhecido passado com muita dedicação, especialmente a Dra Elise Saraiva. Ambos sabemos as dificuldades que tivemos para chegar até aqui, o que apenas engrandece nossa conquista.

Agradeço a todos os técnicos e funcionários da Universidade que participaram do processo de construção desta caminhada, especialmente a equipe das coordenações, a qual tive a felicidade de conviver.

Agradeço ao Professor Dr. Pedro Luiz Lima Bertarini pela paciência e companhia durante o desenvolvimento desde trabalho, bem como por toda a amizade durante as várias disciplinas que estivemos juntos.

Agradeço especialmente aos colegas de Algar Fernando Custódio e Dalysson Martins pela imensa contribuição e ensinamentos para o desenvolvimento do projeto que desenvolvi, e ao Professor Dr. Peterson Elizandro Gandolfi pelos conselhos mais que providenciais.

Agradeço à Universidade Federal de Uberlândia pela oportunidade de me graduar em um curso de tão alto nível.

Muito obrigado a todos. Eu jamais os esquecerei.

RESUMO

Atualmente muito se fala sobre o desenvolvimento de redes ópticas como um meio de transmissão aplicável para comunicações que atendam a demanda por maiores bandas de usuários residenciais e micro e pequenos empresários. Dentre todas as tecnologias disponíveis, uma das que mais se destaca é o GPON (*Gigabit Passive Optical Network* ou Rede Óptica Passiva Gigabit). Porém, sempre que surge um novo padrão tecnológico, este normalmente vem acompanhado de altos custos e desconhecimento de suas particularidades. Para isso, o presente trabalho tem o objetivo de mostrar o processo de viabilidade de uma rede GPON, mostrando suas características e fazendo um paralelo em relação aos custos do ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line* ou Linha Digital Assimétrica para Assinante), que é ainda hoje a tecnologia mais difundida para o acesso de banda larga. O estudo foi feito no acompanhamento de um *case* real de implantação GPON na cidade de Uberaba pela empresa Algar Telecom. Os resultados mostraram que o custo de instalação de uma rede como essa já é aproximadamente 14% menor em relação ao ADSL, e, mesmo tendo seus equipamentos a preços equiparados, possibilita uma oferta de planos de banda 5 vezes maiores com um acréscimo de até 71,5% na receita oriunda desse serviço. Conclui-se que o GPON é uma tecnologia altamente viável do ponto de vista comercial, além de conceitualmente mais simples.

Palavras-chave: Internet, Redes, FTTx, GPON.

ABSTRACT

Much is currently being said about the development of optical networks as an applicable transmission medium for communications that meet the demand for larger bands of residential users and micro and small business owners. Among all available technologies, one of the most outstanding is the GPON (Gigabit Passive Optical Network). However, whenever a new technological standard arises, it is usually accompanied by high costs and lack of knowledge of its particularities. For this, the present work has the objective of showing the process of GPON network deployment, showing its characteristics and making a parallel with the costs of ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line), which is still today the most widespread technology for broadband access. The study was carried out in the follow-up of a real case of GPON implantation in the city of Uberaba by the company Algar Telecom. The results showed that the cost of installing such a network is already approximately 14% lower than ADSL costs, and even with its equipment at the same price, it offers a 5 times higher bandwidth offer with an increase of up to 71,5% in revenue from this service. It is concluded that GPON is a highly commercially viable technology, in addition to being conceptually simpler.

Key words: Internet, Networks, FTTx, GPON.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação características padrões PON.....	21
Tabela 2 – Queda de potência em um Splitter.....	24
Tabela 3 – Orçamento rede de cobre.....	30
Tabela 4 – Orçamento MSAN Keymile.....	31
Tabela 5 – Orçamento rede óptica.....	32
Tabela 6 – Orçamento OLT Huawei.....	33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Descrição das partes básicas de uma fibra óptica	14
Figura 2 - Picos de absorção na fibra devido à impurezas.	17
Figura 3 - Janelas ótimas de transmissão na fibra óptica	17
Figura 4 - Modelos de FTTx.....	19
Figura 5- Principais topologias PON	22
Figura 6 - Arquitetura de uma rede ponto-multiponto	23
Figura 7 - Diagrama de rede GPON	24
Figura 8 - Protótipo de armário óptico	25
Figura 9 - Diagrama de rede ADSL.....	25
Figura 10 - Quedas de potência GPON	26
Figura 11 - Área a ser atendida pelo projeto	28
Figura 12 - Conector SFP	34
Figura 13 - Planos oferecidos pela algar	36
Figura 14- Valores planos de acesso à internet	37
Figura 15 - Gráfico de retorno MSAN	37
Figura 16 - Gráfico de retorno GPON	38
Figura 17 - Gráfico comparativo MSAN vs GPON	39
Figura 18 - Projeto URA-valim de melo	40
Figura 19 - Destaque reserva técnica.....	41
Figura 20 - Raquete de reserva técnica.....	42
Figura 21 - Destaque caixa de emendas	42
Figura 22 - Representativo de uma caixa de emendas.....	43
Figura 23 - Instalação de uma caixa de emendas	43
Figura 24 - Caixa de emendas disposta na fiação.....	44
Figura 25 - Diagrama esquemático de fusão de fibras	44
Figura 26 - Destaque fibras OLT URA-valim de melo	45
Figura 27 - Destaque CTOE	46
Figura 28 - Destaque seções de logradouro.....	46
Figura 29 - CTOE durante fusão de fibras	47
Figura 30 - OLT instalada na estação URA-valim de melo	48
Figura 31 - Gerência OLT Huawei.....	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADSL – Asymmetric Digital Subscriber Line	Linha de Assinante Digital Assimétrica
ATM - <i>Asynchronous Transfer Mode</i>	Modo de transferência Assíncrona
CEMIG	Companhia Elétrica de Minas Gerais
CDMA – <i>Code Division Multiple Access</i>	Acesso Múltiplo por divisão de código
COGE	Placa controladora de um DSLAM
CTOE	Caixa de Terminação Óptica
DSLAM – <i>Digital Subscriber Line Access Multiplexer</i>	Multiplexador de Acesso a Linha Digital do Assinante
DOP	Divisor Óptico Passivo
DGO	Distribuidor Geral Óptico
ELR	Estação de Linha Remota
EPON – <i>Ethernet PON</i>	Padrão de rede PON
FTTB – <i>Fibert to the Building</i>	Fibra até o Prédio
FTTC – <i>Fibert to the Curb</i>	Fibra até o Armário
FTTH – <i>Fibert to the Home</i>	Fibra até a Casa
FTTx – <i>Fiber to the X</i>	Fibra até o X
Gbps	Giga Bits por Segundo
GPON – <i>Gigabit Passive Optical Network</i>	Rede Óptica Passiva Gigabit
IEEE - <i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>	Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos
IP - <i>Internet Protocol</i>	Protocolo de Internet
ITU-T - <i>Telecommunication Standardization Sector</i>	Setor de Normatização das Telecomunicações
HFC - <i>Hybrid Fiber Coax</i>	Sistema Híbrido de Fibra e Cobre
Kbps	Kilo Bits por Segundo
LED - <i>Light Emitting Diode</i>	Diodo Emissor de Luz
Mbps	Mega Bits por Segundo
MSAM – <i>Multi-service Access Node</i>	Node de Acesso Multiserviço
OLT - <i>Optical Line Terminal</i>	Terminal de Linha Óptico
ONU – <i>Optical Network Unit</i>	Unidade de Rede Óptica
PON – <i>Passive Optical Network</i>	Rede Óptica Passiva
PSK - <i>Phase Shift-Keying</i>	Chaveamento de Fase
QoS – <i>Quality of Service</i>	Nível de qualidade de serviço
RF	Radiofrequência
SFP - <i>Small form-factor pluggable transceiver</i>	Transceptor de Fatos de Forma Pequeno Plugável
SLA - <i>Service Level Agreement</i>	Acordo de Nível de Serviço
SUAD	Placa de dados para assinantes DSLAM
TCP - <i>Transmission Control Protocol</i>	Protocolo de Controle de Transmissão
UDP - <i>User Datagram Protocol</i>	Protocolo de Datagrama de Usuário
SUP	Placa de voz para assinantes DSLAM
VoD – <i>Video on Demand</i>	Vídeo por Demanda
VoIP – <i>Voice over Internet Protocol</i>	Voz sobre Protocolo IP
VDSL – <i>Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line</i>	Linha Digital de Assinante com taxa de bit muito alta.
TDMA - <i>Time Division Multiple Access</i>	Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo
WDM – <i>Wavelength-division Multiplex</i>	Multiplexação por divisão de comprimento de onda
WDMA – <i>Wavelength Division Multiple Access</i>	Acesso Múltiplo por Divisão de Comprimento de Onda

SUMÁRIO

Agradecimentos	IV
Resumo.....	V
Abstract	VI
Lista de Tabelas	VII
Lista de Figuras.....	VIII
Lista de Abreviaturas e Siglas.....	IX
1 INTRODUÇÃO.....	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1 Sistema de comunicações óptico	13
2.2 Fibras ópticas.....	13
2.3 Atenuação característica do vidro	16
2.3.1 <i>Vantagens da fibra óptica</i>	18
2.4 Visão do FTTx	19
2.5 Padrões PON	20
2.6 Topologias	21
2.7 Redes PON.....	22
2.8 Cálculo de atenuação na rede PON	26
3 METODOLOGIA	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	29
4.1 Par metálico	29
4.2 GPON	32
4.3 Análise comparativa	34
4.3.1 <i>Custos de instalação</i>	34
4.3.2 <i>Retorno financeiro</i>	36
4.3.3 <i>Tecnologia escolhida</i>	39
4.4 Instalação da solução	40
4.4.1 <i>Cabeamento</i>	41
4.4.2 <i>Central</i>	47
5 CONCLUSÃO.....	50
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51

1 INTRODUÇÃO

Atualmente com a grande oferta de serviços digitais, como por exemplo, VoIP (*Voice over Internet Protocol* ou Voz sobre protocolo IP), VoD (*Video on demand* ou Video sob Demanda), IPTV (*Internet Protocol Television* ou Televisão pelo Protocolo Internet), *Streaming* (Fluxo de mídia), dentre vários outros, as redes das empresas de telecomunicações são cada vez mais exigidas para conseguirem suportar à crescente demanda por largura de banda. Há poucos anos o padrão de conexão de internet era de 64 kbps, ao passo que até o ano de 2017 a banda média de conexão no Brasil saltou para 4,1 Mbps. Um notório crescimento de aproximadamente 6.400%, porém que ainda nos deixa abaixo da média mundial de 5,6 Mbps [1].

Mas esse crescimento não consegue ser acompanhado pelas tecnologias de acesso atualmente em uso pelo mercado. Ainda hoje, a maior parte das conexões banda larga são feitas através de par metálico, e a fibra óptica é utilizada em apenas 5% da rede brasileira [2]. Isso, além de ser um fator limitador, já que mesmo na tecnologia VDSL (*very-high-bit-rate Digital Subscriber Line* ou Linha Digital de Assinante com taxa de bit muito alta) as conexões não passam facilmente dos 20Mbps, existe um problema estrutural já que os clientes devem estar perto das centrais, pois quanto mais longe dela maior a atenuação observada. Tipicamente, em tecnologias que usam par metálico a distância máxima usuário-central é de quatro quilômetros [3].

Hoje em dia existem inúmeras pesquisas que buscam encontrar alternativas viáveis para a substituição do par metálico e de links de micro-ondas como meios de transmissão. A mais promissora é a utilização de fibras ópticas, que são compostas por materiais dielétricos e, portanto, são imunes às interferências eletromagnéticas independente de quão ruidoso seja ambiente, garantindo a entrega do sinal. Assim, as redes de fibra óptica têm enorme potencial, apresentam significativa redução de custo e possibilitam a massificação das tecnologias baseadas em FTTx (*Fiber to the X*, ou Fibra para o X, sendo o x o designador do modelo específico, já que existem vários dependendo de quão próximo o cabeamento óptico se encontra do usuário final), destacadamente a PON (*Passive Optical Network* ou Redes Ópticas passivas).

Inicialmente, cabos de fibra óptica eram requisitados apenas em enlaces de *Backbone*, que são os entroncamentos principais das redes das operadoras. Entretanto, com a redução dos custos de sistemas ópticos, estes se tornaram uma possível solução para a unificação das

transmissões, com a oferta do chamado *triple play* (um serviço que combina voz, dados e multimídia sob um único canal de comunicação de banda larga), eliminando a necessidade dos clientes contratarem vários pacotes e simplificando o processo de utilização do serviço.

Nesse cenário, redes PON apresentam várias outras vantagens, como (i) a eliminação de elementos ativos na rede, reduzindo o gasto energético e facilitando o controle da rede, já que nela existe uma quantidade reduzida de equipamentos gerenciáveis; (ii) alta confiabilidade dos dados, pois como a luz é confinada no meio de transmissão, ou seja, na fibra, é praticamente impossível o acesso aos dados enviados; (iii) e, talvez o principal, o fato de fibras ópticas representarem um investimento seguro a um custo competitivo, já que em novas tecnologias alteram-se apenas os equipamentos transmissores e receptores, mantendo-se a rede óptica inalterada.

Objetivo Geral

Para atendimento de assinantes banda larga, existem algumas possibilidades. Atualmente as mais utilizadas são através de fibra óptica ou pares metálicos de cobre. Como havia uma demanda a ser suprida, foi feito o estudo para mostrar qual das tecnologias mais usuais era viável para ser aplicada.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é avaliar a tecnologia de comunicação por fibra óptica chamada GPON, explicando o processo de desenvolvimento de uma central de atendimento a clientes, ressaltando suas vantagens em relação às principais tecnologias utilizadas atualmente.

Objetivo específico

- Detalhamento da tecnologia, explicitando como é o processo de desenvolvimento de uma rede GPON;
- Desenvolvimento das características de projeto, mostrando as etapas de trabalho em campo;
- Determinação dos custos envolvidos no *case* de estudo, comparando-os com uma rede xDSL;
- Análise de viabilidade técnica e financeira da implementação da tecnologia.

Organização do trabalho

Este trabalho está organizado da seguinte forma: no capítulo 2 é apresentado um breve desenvolvimento teórico sobre a utilização das fibras ópticas como meio de transmissão para as telecomunicações. Nele são abordados os principais temas envolvidos no presente trabalho: sistemas de comunicações ópticos, a fibra óptica, a atenuação característica dos vidros, visão do FTTx, os padrões PON, as topologias de redes utilizadas, um descritivo da tecnologia PON e como é feito o cálculo de atenuação numa rede PON.

O capítulo 3, por sua vez, mostra a metodologia desenvolvida no projeto: como foi o projeto da rede de transmissão óptica, os equipamentos empregados e como foi a instalação da solução PON recomendada. No capítulo 4 é feita uma análise dos resultados alcançados com a solução proposta e no capítulo 5 são mostrados aspectos conclusivos a respeito da utilização de GPON como solução para redes de acesso.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistema de comunicações óptico

Desde o início das telecomunicações com o advento do telégrafo em 1837, por Samuel F. Morse, e até pouco tempo atrás, a maior parte das estruturas de comunicação utilizavam sinais elétricos para a transmissão da informação [4].

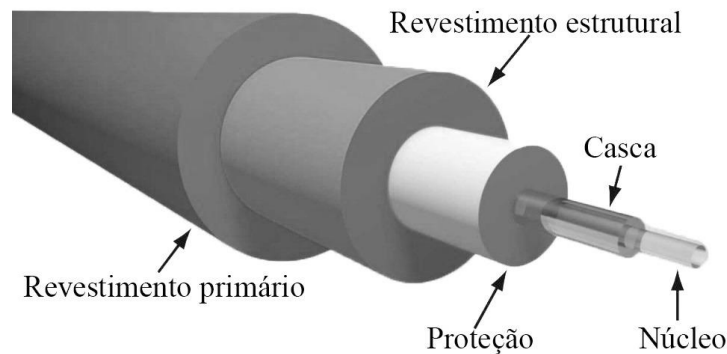
Inicialmente utilizavam-se transmissões por um modo de banda-base, na qual o sinal era diretamente transmitido através do canal. As comunicações foram evoluindo então para sistemas modulados, o que possibilitou uma maior utilização do espectro eletromagnético e o surgimento de diversas novas tecnologias como, por exemplo, as comunicações por radiofrequência (RF), microondas, satélites e linhas de transmissão terrestres e marítimas. Tais evoluções tinham sempre o propósito de melhorar algum aspecto da transmissão, como a confiabilidade do sinal, reduzindo erros e distorções; a capacidade do canal, permitindo que mais dados fossem enviados na mesma estrutura ou diminuir a necessidade de amplificação ao longo da transmissão, reduzindo o número de repetidores ao longo do caminho [4].

Esse desenvolvimento sempre foi pautado no aumento da frequência do canal de comunicação, permitindo alocar mais bits de informação no sinal banda base por meio da utilização de ondas portadoras. Porém com a massificação das comunicações por fibra óptica, a partir da década de 70, esse modelo tornou-se obsoleto, pois as fibras conseguiam transportar uma quantidade muito maior de informações sem necessariamente utilizar uma largura de banda tão grande, proporcionalmente. E para o seu desenvolvimento foi adotado um método diferente do anterior, com a segmentação da luz em vários comprimentos de onda diferentes, onde cada um transporta um fluxo de dados independente dos demais, elevando a capacidade de transporte de informação [5]. Esse processo é conhecido como múltiplo acesso por comprimento de onda (*WDMA—wavelength division multiple access*)

2.2 Fibras ópticas

Uma fibra óptica pode ser definida como um guia de onda de vidro muito fino, comprido e puro, com diâmetro de aproximadamente um fio de cabelo humano, da ordem de 100 micrômetros (100 μ m) [5]. Através dela, é possível guiar um feixe de luz desde um emissor numa ponta a um receptor na outra (considerando que a luz está totalmente confinada), tornando possível a transmissão de dados modulados.

Figura 1 - Descrição das partes básicas de uma fibra óptica.



Fonte: Adaptado de [21]

A fibra é dividida basicamente em duas partes: o núcleo e a casca como mostrado na Figura 1. O núcleo é o filamento de vidro ao centro, construído predominantemente com sílica, onde a luz é efetivamente guiada e a casca é o revestimento, que além de proteger o núcleo, tem a função de atuar como um espelho perfeito, através das diferenças entre os índices de refração de ambos. Normalmente são adicionadas camadas extras de revestimento, para auxiliar no revestimento físico, evitando possíveis quebras e de proteção para ajudar no confinamento da luz.

Sobre a luz transmitida em uma fibra, cabe aqui ressaltar que não se trata de uma luz qualquer. A radiação eletromagnética que enxergamos e chamamos de luz visível é na verdade composta por vários comprimentos de onda. Tais comprimentos englobam todo o espectro visível que formam as cores que vemos, bem como as ondas infravermelhas e ultravioletas. Nas comunicações ópticas, são utilizados os comprimentos de ondas da “luz infravermelha”, devido à atenuação característica da fibra nesses comprimentos específicos [6].

Existem dois tipos de fibras: as fibras monomodo e as multimodo. As fibras monomodos possuem os menores núcleos, da ordem de $9\mu\text{m}$ de diâmetro e utilizam luz infravermelha em suas transmissões, com comprimentos de onda na faixa de 1300 e 1550 nm. Devido a esta característica, fibras ópticas monomodo são geralmente utilizadas para longas distâncias. Já as fibras multimodo têm núcleos maiores, de cerca de $62\mu\text{m}$ e transmitem luz infravermelha com comprimento de onda entre 850 a 1300nm [5].

Numa fibra óptica, o núcleo necessita ter um índice de refração maior que o da casca para que aconteça o fenômeno da reflexão interna total, e assim, a luz permaneça confinada na

fibra [7]. E isso é uma característica que confere ainda mais vantagem à sílica, pois seu índice pode ser alterado com a adição de dopantes no seu processo construtivo de maneira relativamente fácil. Entretanto, é necessário que a dopagem se atente também para outros fatores no processo de fabricação, já que isso também altera outras características do vidro, tal como os coeficientes de expansão térmica. Se esse coeficiente for muito diferente com o da casca, num dia muito quente, por exemplo, eles podem acabar causando uma ruptura no cabo devido à dilatação do material.

Na fibra óptica o mais comum é uma proporção de dióxido de germânio (4% a 10%) quando se deseja aumentar o índice de refração, e a adição de trióxido de boro (B_2O_3) quando se pretende diminuí-lo, sempre levando em conta a destinação daquele cabo. Outros dopantes comuns são o pentóxido de fósforo (P_2O_5), dióxido de titânio (TiO_2) e óxido de alumínio (Al_2O_3) [6]. O vidro que compõe a fibra óptica é, naturalmente, um vidro especial. Muitas vezes considerado um líquido muito viscoso e não um sólido, devido ao seu arranjo molecular, as fibras são feitas majoritariamente por sílica pura fundida (dióxido de silício - SiO_2), pois ela tem a menor absorção de luz nas bandas de comprimento de onda utilizadas do que qualquer outro material disponível [8].

Quando um curto pulso de luz é enviado na fibra a partir de um laser, a saída é degradada por sua passagem através dela, resultando em um sinal mais fraco e distorcido no tempo.

Isso ocorre principalmente pelos fatores atenuação e dispersão. Atenuação é uma característica inerente ao material que compõem as fibras ópticas que, mesmo passando por um alto padrão de qualidade no seu processo produtivo, não são totalmente uniformes, o que acaba gerando um pequeno espalhamento da luz. E mesmo que o vidro que compõem a fibra não absorva a luz, nenhum material comercial consegue ser 100% puro. Com isso, as impurezas presentes na sílica podem absorver parte da luz que é transmitida. As taxas de espalhamento e absorção irão depender do comprimento de onda que se trabalha na transmissão.

Nos sistemas digitais com modulação OOK (*on-off keying* – chaveamento *on-off*), os bits são transmitidos utilizando pulsos em níveis altos (representados por “1”) e baixos (representados por “0”). Na fibra isso significa presença e ausência de luz, respectivamente. Porém para que haja confiabilidade na transmissão, é preciso diferir precisamente um do outro na recepção. O que ocorre é que o sinal é espalhado durante a transmissão, impossibilitando às vezes a recuperação de um fluxo de bits de maneira confiável [5]. Existem várias causas para esse fenômeno, sendo possivelmente as principais:

1. Dispersão cromática

Comprimentos de ondas diferentes trafegam na fibra por velocidades diferentes. Como os emissores ópticos (lasers e LEDs) não conseguem emitir luz em um único comprimento de onda, e sim em uma estreita faixa, um pulso é composto por alguns comprimentos minimamente diferentes, mas que ainda assim chegam ao destino em tempos diferentes, causando um sinal mais disperso do que o foi enviado.

2. Dispersão modal

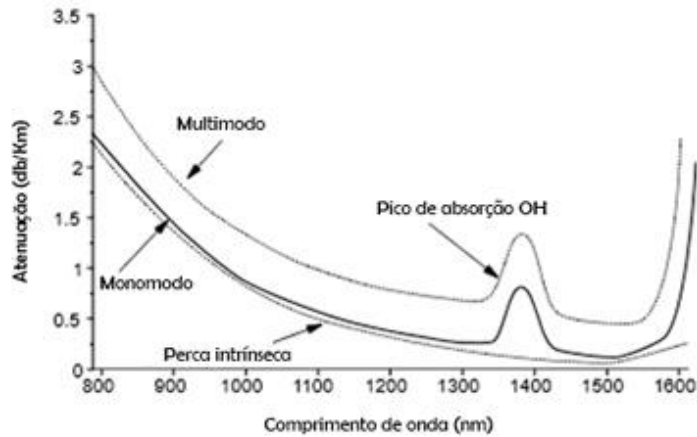
Como já falado, existem fibras monomodo e multimodo. Ao usar uma fibra do segundo tipo, é possível que a luz utilize diferentes modos para chegar ao receptor, de maneira que a distância percorrida seja diferente em cada modo. A diferença de tempo de chegada do feixe de luz entre os modos causa a dispersão do sinal, que tende a aumentar quanto maior for a distância percorrida.

2.3 Atenuação característica do vidro

No início das comunicações ópticas, os principais atenuadores eram as impurezas contidas no vidro. Vários materiais podem causar uma absorção significativa mesmo em níveis de presença da ordem de uma parte por bilhão. Contudo, as técnicas de rejeição de impurezas estão sendo melhoradas a cada dia, ao ponto que hoje já não são uma preocupação tão significativa. Em 1970, a atenuação média em uma fibra de silício era da ordem de 20 dB/km. Em 1980 ela chegou a 1dB/km. Em 1990 o valor já era de 0,2dB. [6].

Além disso, a quantidade de modos presentes na fibra que também pode influenciar os valores de atenuação da fibra. A Figura 2 mostra as variações de atenuação em uma fibra em relação ao comprimento de onda. Pode-se perceber que há alteração dos valores entre as fibras mono e multimodos. O pico de absorção mostrado na figura 2 situa-se em 1385 nm e é causado pela presença de água durante o processo produtivo da fibra. Porém pode ser acentuado por vários fatores, como por exemplo, o calor do ambiente.

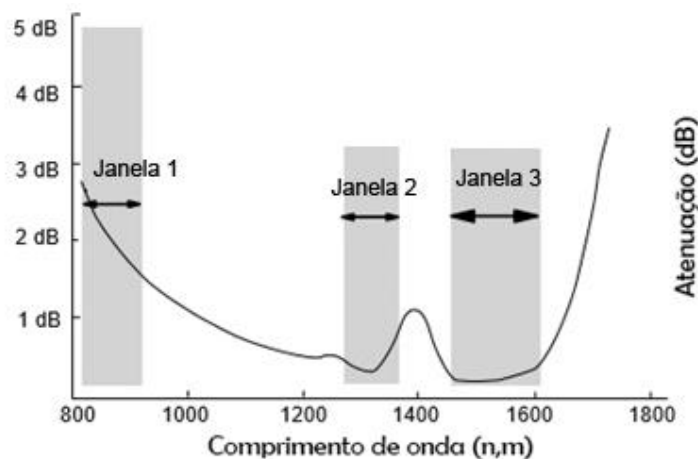
Figura 2 - Picos de absorção na fibra devido à impurezas.



Fonte: Adaptado de [6].

De acordo com [9], o aperfeiçoamento da transmissão óptica mostrou que a atenuação na fibra óptica é intrínseca a ela. Os diferentes níveis de atenuação observados criam então janelas de atenuação ótima para a transmissão de sinais no espectro da fibra, conforme mostra a Figura 3, sendo 850nm (i), 1310nm (ii) e 1550nm (iii) as mais utilizadas nos sistemas ópticos.

Figura 3 - Janelas ótimas de transmissão na fibra óptica



Fonte: Adaptado de [6].

i. Janela 1: Janela entre os comprimentos de 800-900nm. Foi principalmente usada entre os anos de 1970 até 1980. Foi especialmente interessante pela baixa brusca no perfil de atenuação e pela possibilidade de se utilizar fontes e detectores ópticos de baixo custo.

ii. Janela 2: A segunda janela encontra-se em volta de 1310nm. Começou a ser usada a partir de 1980. Seu principal atrativo é a dispersão praticamente nula nas fibras multimodo, apesar de requerer equipamentos de emissão e detecção óptica mais caros.

iii. Janela 3: A última janela está entre os comprimentos de onda de 1510 e 1600nm e é caracterizada pela menor atenuação disponível nas fibras ópticas atuais (cerca de 0,2 db/km) e é a mais utilizada hoje em dia. Entretanto é a que requer aparelhagem mais cara e complexa para ser operada.

2.3.1 *Vantagens da fibra óptica*

A adoção de um sistema óptico de comunicação, assim como qualquer outro, traz consigo vantagens e desvantagens, cabendo ao projetista da rede analisar cada caso e optar pelo que melhor se adequa. Porém, de forma geral, a fibra ainda se destaca muito em relação à utilização de cabos de cobre, que tipicamente tem uma atenuação de 1 dB/km em 800 Hz, considerando o diâmetro padrão utilizado para o fio de 40 mm ou 60 mm. Tomando por base de comparação apenas estes dois sistemas mais difundidos, podemos destacar:

Capacidade de transmissão a longas distâncias, pois como apresentam uma menor atenuação por km (em média 0.38 db/Km), conseguem assim enviar um sinal com menos erros e uma menor necessidade de repetidores ao longo do caminho. Tal redução proporciona um decréscimo no custo e na complexidade do projeto, pois a mesma fibra pode chegar a distância bem maiores que o cobre, dispensando-se a necessidade de amplificação do sinal.

Redução de tamanho e peso em comparação com os pesados e volumosos cabos de cobre. Isso é uma grande vantagem competitiva, pois num mesmo espaço, seja ele em dutos ou postes aéreos, podem-se alocar mais fibras sem alterar estruturas pré-existentes.

Aumento da confiabilidade e segurança do sinal. Como a transmissão é feita através de um sinal óptico, estando este totalmente confinado dentro do revestimento opaco da fibra, não haverá nenhuma emissão de sinal através dela, o que torna quase impossível que se acesse os dados enviados, diferentemente do cobre, onde é relativamente simples o grampeamento da transmissão. Além disso, como material é um dielétrico, não possuindo condutividade, evita-se que possíveis interferências eletromagnéticas possam alterar o sinal transmitido, tornando a fibra imune às interferências elétricas. Elevada capacidade de transmissão. Por possuírem maior largura de banda, permitem que uma quantidade maior de informação seja enviada por

uma única fibra, o que reduz a quantidade de linhas necessárias para envio de uma quantidade determinada de dados.

Porém como foi falado, um sistema como este carrega também algumas desvantagens em relação ao cobre:

Por se tratar de um material com alto valor tecnológico agregado, implica também num custo elevado de manutenção da rede, demandando sempre mão de obra especializada.

Dificuldade consideravelmente maior para realização de emendas e conectores, sempre com o auxílio de equipamentos caros e sofisticados.

Complicação para a criação de ramificações da rede, visto que o lançamento de uma fibra é mais trabalhoso e requer um processo mais delicado de manuseio.

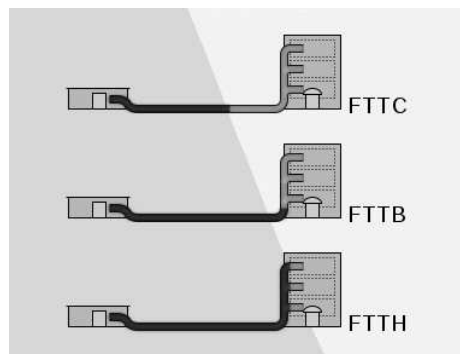
Apesar disso, as vantagens, na grande maioria dos casos, cobrem com sobras as desvantagens de uso de um sistema como este. Tendo em vista este cenário benéfico, surgiram vários modelos para o emprego da fibra em redes de acesso banda larga, chamados de FTTx.

2.4 Visão do FTTx

Para os sistemas atuais, a fibra óptica representa um canal de transmissão com largura de banda ainda com muito potencial a ser explorado. Dessa forma, as redes FTTx vem se tornando o padrão deste mercado.

Em [10], são mostradas as topologias de redes ópticas para assinantes, com provavelmente a FTTH (*Fiber to the Home* ou Fibra para Casa) como seu maior expoente. As principais estão ilustradas na Figura 4, que evidencia a diferença entre as distâncias entre o cliente final e a fibra.

Figura 4 - Modelos de FTTx



Fonte: Adaptado de [22]

FTTC ou (*Fiber to the Curb* – Fibra até o armário). Aqui a fibra é levada até o armário de distribuição mais próximo, normalmente entre 150 a 300 metros do assinante. A partir daí a fibra é levada em par metálico até o cliente. Este é um modelo híbrido que busca utilizar a estrutura pré-existente das conexões de banda larga, permitindo uma maior capacidade de tráfego por meio do aumento de banda num armário já em uso e diminuindo os custos de instalação envolvidos.

FTTB ou (*Fiber to the Building* – Fibra para o condomínio). É uma arquitetura onde a rede óptica vai até a entrada de um edifício ou condomínio. A partir daqui a distribuição é realizada utilizando-se cabos metálicos. Tal método é mais empregado em estruturas prediais antigas, que possuem pouca estrutura para instalação de novas tecnologias e comumente já dispõem de rede de cobre instalada.

FTTH é o modelo mais visado atualmente, no qual o sinal após sair da OLT (*Optical Line Terminal* – Terminal de Linha Óptico), é dividido opticamente pelos *splitters* até chegar à residência do cliente, onde irá conectar-se à ONU (*Optical Network Unit* – Unidade de Rede Óptica), provendo os serviços em uma rede totalmente livre de cobre. Este modelo é o que é empregado pela tecnologia PON.

2.5 Padrões PON

O precursor da tecnologia PON foi o ATM PON ou APON, que mais tarde evoluiria para o BPON. Ambos utilizam a tecnologia ATM e as principais diferenças entre eles são os recursos de sobreposição extra e alocação dinâmica de largura de banda suportados por segundo para o uso de serviços para larga [11]. Embora o APON raramente seja usado nativamente em projetos de redes atuais, ele foi o primeiro que alcançou significativa escala comercial. Ambos os sistemas operam com taxas de 155Mbps ou 622Mbps, sendo esta última a mais comum.

A rede EPON ou 1G EPON surgiu como uma evolução natural do APON devido a sua incapacidade de transmissão de vídeo, banda relativamente pequena e complexidade de implantação. A partir do desenvolvimento do protocolo Ethernet, as taxas de transmissão chegaram rapidamente aos Gbit/s e foi necessário a substituição do ATM pelo protocolo IP. Aqui os dados passaram a ser transmitidos em pacotes de comprimento variável de até 1,518 bytes de acordo com a IEEE 802,3. Já o GEAPON (*Gigabit Ethernet Passive Optical Network*) é a evolução do EPON, desenvolvida para ser totalmente compatível com as redes EPON pré-

existentes e competir com o GPON na quantidade de banda disponibilizada, já que este consegue enlaces de até 10Gbit/s.

Por fim, o GPON é também uma rede de capacidade Gigabit, porém foi padronizado pela ITU-T G.984 [12]. Ele oferece velocidades no downstream de 2,5 Gb/s e velocidades no upstream de 1,25 Gb/s. Baseia-se nas recomendações G 984.1 e G.984.6 da ITU-T fornecendo serviços por meios dos protocolos Ethernet, TCP, UDP, IP, T1/E1, vídeo e VoIP. A divisão usual em cada fibra é de 1:32 ou 1:64, podendo chegar até 128 clientes compartilhando a banda disponível, a depender do fabricante [4].

A escolha de qual tecnologia utilizar depende de alguns fatores, podendo-se destacar dois: necessidade de banda e o valor disponível para investimento. Na Tabela 1 estão representadas as principais diferenças entre as tecnologias.

Tabela 1 - Comparação características padrões PON

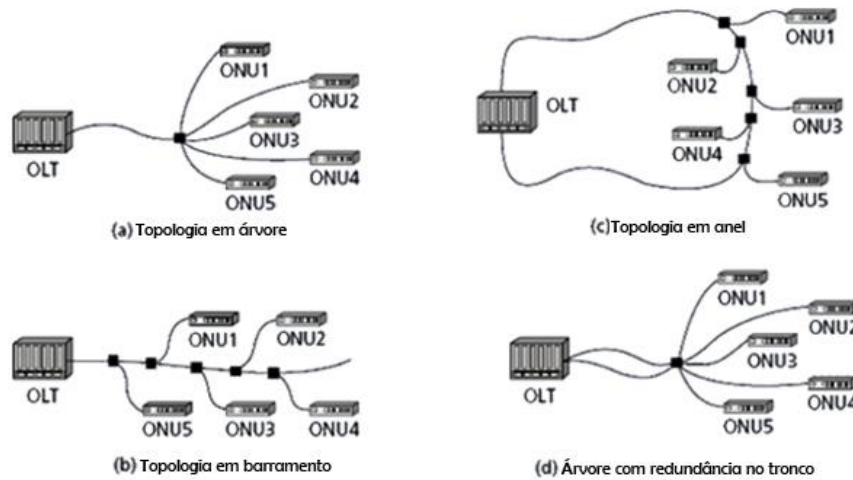
CARACTERÍSTICAS	APON/BPON	GPON	EPON	GEPON
Padrão	ITU-T G.983	ITU-T G.984	IEEE 802.3ah	IEEE 802.3av
C. T.	155/622 Mbit/s	2.5 Gbit/s	1Gbit/s	1Gbit/s
λ Downstream	1480 a 1500 nm	1480 ou 1500 nm	1490 a 1510 nm	1490 nm
λ Upstream	1260 a 1360 nm	1260 a 1360 nm	1310 nm	1310 nm
Protocolo	ATM	ATM/Ethernet	Ethernet	Ethernet
Número de divisões	1:32	1:128	1:32	1:16
Largura de banda média	20Mbit/s	20Mbit/s	30Mbit/s	80Mbit/s

C.T. – Capacidade de transmissão. Fonte: [20]

2.6 Topologias

Redes PON podem ser desenvolvidas em três topologias principais: anel, barramento ou árvore, dependendo das necessidades do projeto, como mostradas na Figura 5 [13].

Figura 5- Principais topologias PON



Fonte: Adaptado de [26]

Nas topologias em árvore, mostrada nas Figura 5- Principais topologias PON todas as ONUs são ligadas a uma única OLT, e por um *Splitter* o sinal é dividido entre todas as unidades de clientes. Nas topologias em barramento, como a mostrada na Figura 5-(b), as ONUs são conectadas a uma única fibra com vários *splitters*, tipicamente 1:2 (lê-se um para dois), que vão dividindo a potência até a entrega de serviço ao usuário. Em topologias em anel, Figura 5-(c), duas ONUs se conectam diretamente a OLT, com as demais sendo cascadeadas de forma serial, em uma espécie de barramento óptico.

É interessante ressaltar que as topologias em árvore e em barramento são mais suscetíveis às falhas que impactem os serviços de clientes, pois não contam com nenhuma redundância. Uma ruptura simples na fibra após a OLT e todos os clientes ficariam sem atendimento. Neste caso, topologias em anel (c) ou mesmo em árvore com redundância (d), onde é utilizada uma proteção no ramo tronco entre a OLT e o *Splitter* são mais indicadas já que há mais de uma via de acesso aos equipamentos. Cada topologia tem sua função, e são utilizadas de acordo com a arquitetura a ser implementada.

2.7 Redes PON

Dentre as tecnologias existentes para a utilização de fibra óptica no modelo de FTTH para envio de dados, a de maior destaque é a PON (*Passive Optical Network* ou Rede Óptica Passiva). De acordo com [4], as redes PON são concebidas para utilização de apenas uma fibra óptica, com transmissão bidirecional (*Upstream/Downstream*) a partir da utilização de

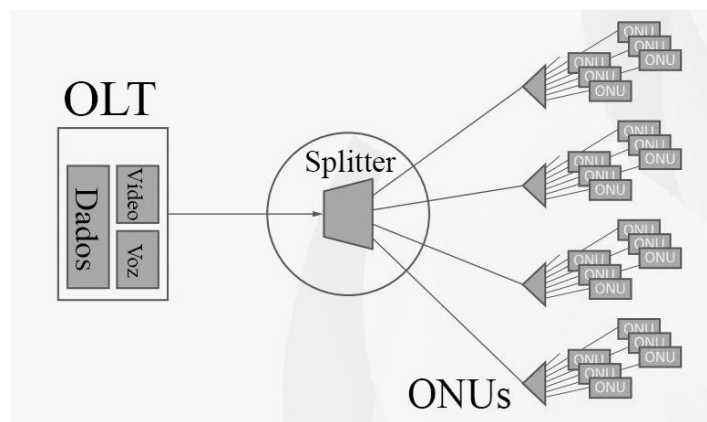
WDM (Multiplexação por Divisão de Comprimento de Onda). A transmissão é feita em *broadcast* a partir da OLT para todas as ONUs que simplesmente ignoram os pacotes não endereçados a elas. Na resposta, utiliza-se TDMA (*Time Division Multiple Acces*) para destinar cada *slot* de tempo para cada ONU enviar sobre o canal.

Na Figura 6 podemos visualizar os principais componentes de uma rede como essa: OLT, ONU e *Splitter* (também chamado de DOP - Divisor óptico passivo).

A OLT é um componente ativo do sistema, ou seja, é um elemento da rede que, conceitualmente, necessita de energia para seu funcionamento, que fica localizado normalmente em uma estação concentradora. As principais funções são concentrar todos os assinantes da rede de forma que a mesma gerencie todos os acessos, executar o QoS (*Quality of Service* qualidade de serviço dos assinantes) e o SLA (*Service Level Agreement* ou acordo de nível de serviço), que é o cumprimento dos serviços contratados pelo cliente.

Já os elementos onde o sinal óptico é apenas dividido, sem a necessidade de energia para o funcionamento ou para ampliação, são considerados passivos.

Figura 6 - Arquitetura de uma rede Ponto-Multiponto



Fonte: Adaptado de [23]

A ONU, que também é um componente ativo, fica em um ambiente próximo do cliente final. Dependendo do tipo de arquitetura, tal proximidade pode variar como mostrado anteriormente na seção 2.4. Sua função é principalmente a concessão de acesso dos usuários à rede, convertendo o sinal elétrico dos dispositivos finais para o sinal óptico que será retransmitido à OLT.

E por fim, o *Splitter* é um elemento passivo, que faz a divisão da potência óptica do sinal permitindo a existência do modelo ponto-multiponto. Cada *splitter* representa então uma queda de potência, proporcional a divisão feita por ele. Quanto maior a divisão, maior será a

queda de potência no enlace. Na Tabela 2 se encontram as quedas típicas de potência após cada divisão [14].

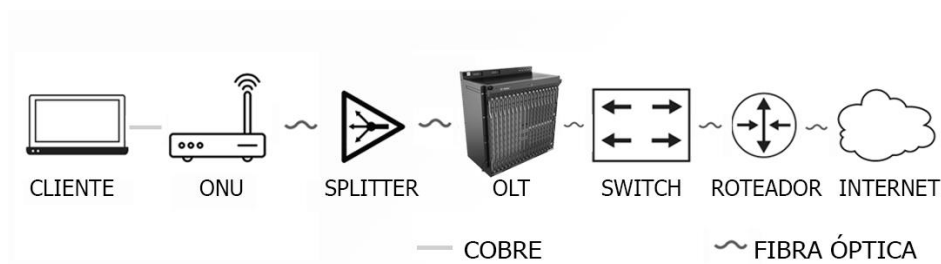
Tabela 2 - Queda de potência em um Splitter

Perda de Inserção Máxima	1x2	1x4	1x8	1x16	1x32	1x64
	3.7dB	7.1dB	10.5dB	13.7dB	17.1dB	20.5dB

Fonte: O autor.

Na Figura 7 podemos observar o esquemático de uma conexão como essa, onde o acesso do assinante é todo feito por fibras ópticas e a conexão com a ONU é o único ponto possível de utilização de cobre. Podemos perceber que entre a OLT e a ONU não há elementos ativos na rede, apenas os divisores ópticos.

Figura 7 - Diagrama de rede GPON



Fonte: Adaptado de [24]

Atualmente, as operadoras disponibilizam planos de até 300Mbps. Porém como já falado, a fibra pode prover uma largura de banda bem maior que esta, sendo este um importante fator para o desenvolvimento deste tipo de tecnologia, já que em eventuais *upgrades*, poderiam ser realizadas apenas as trocas dos equipamentos ativos, preservando o meio de transmissão.

No uso de GPON, sempre se procura utilizar uma estação ELR (estação de linha remota), evitando-se assim armários de rua. Assim a estação onde fica a OLT tem toda uma infra-estrutura mais adequada: comumente é de alvenaria; possui climatização (ar condicionado); possui quadro energético bem estruturado, possivelmente com banco de baterias; *rack* com o espaço já destinado, sendo um local mais robusto e preparado para receber equipamentos deste porte, qualidades não encontradas em armários. Porém esta é uma

característica que deve mudar a médio/longo prazo, pois já existem iniciativas para criação de armários concentradores ópticos, como o mostrado na Figura 8, levando a um modelo que se assemelha a distribuição xDSL utilizada atualmente, pois com a grande expansão das redes ópticas, já existem casos onde a colocação de armários para melhor distribuição das fibras se faz necessária.

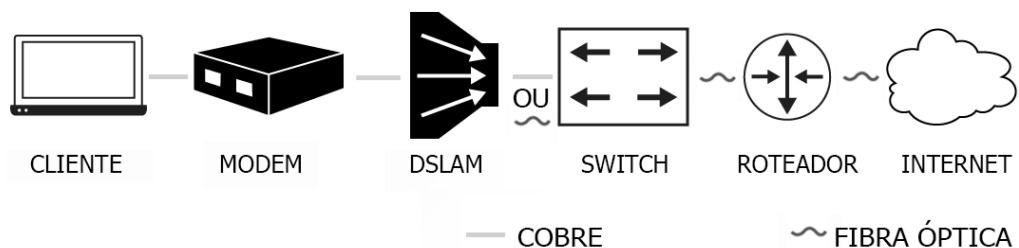
Figura 8 - Protótipo de armário óptico



Fonte: O autor.

Comparativamente, nas redes xDSL, o par metálico é usado desde o DSLAM (*Digital Subscriber Line Access Multiplexer* - Multiplexador de Acesso a Linha Digital do Assinante) até o cliente final, como mostrado na Figura 9. O DSLAM é o equipamento responsável pela multiplexação e concentração do sinal dos usuários, conectando-os à rede de dados. Ele é o equipamento que faz função análoga a OLT nos modelos FTTH. O sinal é então entregue ao modem, que aqui realiza a função da ONU, de prover o acesso do cliente à internet.

Figura 9 - Diagrama de rede ADSL



Fonte: Adaptado de [24]

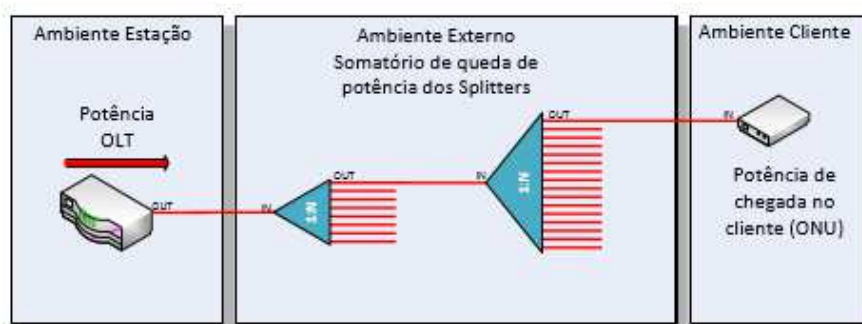
Neste modelo, os links de dados são limitados à capacidade de transmissão do cobre, que dependendo da tecnologia e de vários outros fatores, como a distância, por exemplo, chega a apenas 40Mbps (em condições especiais). Além disso, entre o DSLAM e o modem existem os armários de rua, que fazem a retransmissão dos dados até a central, já que no par metálico os enlaces não suportam grandes distâncias devido às suas perdas, o que acaba por encarecer o projeto.

2.8 Cálculo de atenuação na rede PON

Na confecção de um projeto de rede do tipo PON, é necessário garantir que a potência que chegue ao cliente (P_{ONU}) esteja dentro do *threshold* (ou faixa de funcionamento) da ONU, que normalmente varia entre -20dBm e -26dBm.

Para tal é necessário considerar todas as quedas de potência que estarão presentes ao longo da transmissão até o cliente: atenuação da própria fibra (P_{FIB}), que é tipicamente 0,2dB/km; as perdas por emendas do cabo óptico (P_{EME}), considerada teoricamente em 0,5dB/fusão (como o fusionador não consegue ser 100% livre de impurezas, sempre acaba adicionando uma atenuação ao processo); e, principalmente, as perdas devido aos *splitters* (P_{DOP}) que estarão diretamente ligadas ao número de divisões que os mesmos impõem ao sinal. Tomemos como exemplo a Figura 10, onde uma fibra que sai de uma porta da OLT passa por duas divisões. A potência que chega ao cliente é o que é enviado da OLT subtraído das quedas, em dB, ao longo da transmissão.

Figura 10 - Quedas de potência GPON



Fonte: [19]

Se considerarmos que o sinal é transmitido com uma potência P_{OLT} , através de um caminho de distância qualquer, passando por um DOP 1:8 e posteriormente um 1:32, temos então que a potência que efetivamente chega na ONU é:

$$P_{ONU} = P_{OLT} - P_{FIB} - P_{EME} - P_{DOP1} - P_{DOP2}$$

Onde:

- P_{ONU} = Potência efetiva necessária na ONU
- P_{OLT} = Potência transmitida pela OLT
- P_{FIB} = Potência perdida ao longo da fibra óptica.
- P_{EME} = Potência perdida nas emendas presentes no cabo.
- P_{DOP} = Queda de potência nos *splitters*, devido à divisão de potência.

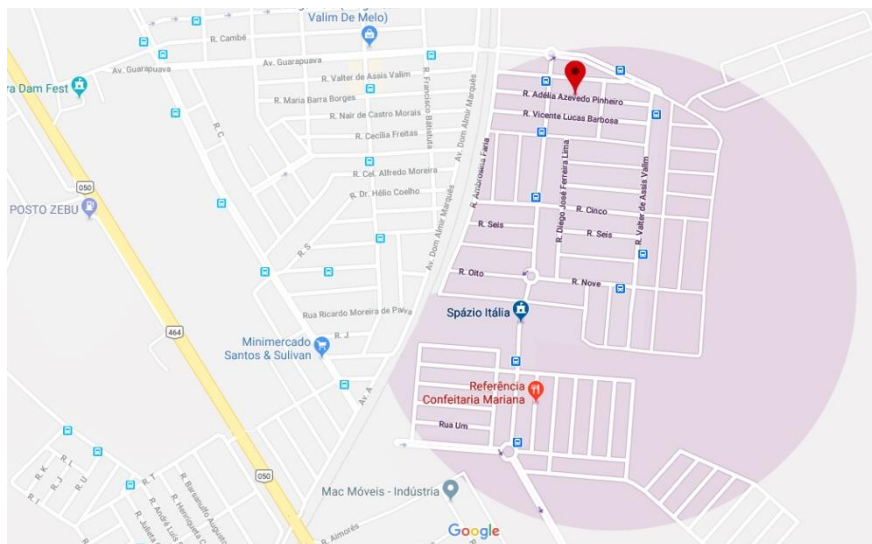
Ou seja, a potência que efetivamente chega na ONU para o cliente é a potência de transmissão da OLT menos todas as quedas que ocorrem no caminho.

3 METODOLOGIA

A Algar hoje é uma empresa nacionalmente consolidada no ramo de oferta de enlace de dados, com forte presença nas regiões Sul e Sudeste e expansão acelerada no Nordeste brasileiro. Possui hoje por volta de 600.000 clientes ativos de banda larga, divididos entre as tecnologias xDSL, HFC (*Hybrid Fiber Coax*, algo como sistema híbrido de fibra e coaxial, em tradução livre, sendo esta uma rede mista que fornece internet e TV digital) e obviamente GPON, sendo considerada a sexta melhor empresa do setor, à frente de várias gigantes nacionais [15]. Está consolidada como uma das mais lucrativas entre as teles brasileiras, tendo registrado crescimento de 25,1% dos lucros em 2017 comparativamente a 2016, mesmo em plena crise econômica [16].

Tendo em vista todo esse crescimento, sua rede está em plena expansão para fazer frente ao aumento de demanda. Neste sentido, foi desenvolvido este projeto para analisar qual a melhor opção para atendimento de clientes em uma área não contemplada em Uberaba – MG, na estação que foi denominada como URA08 – Valim de Melo que pode ser vista em destaque na Figura 11. Figura 10

Figura 11 - Área a ser atendida pelo projeto



Fonte: Google Maps

A atividade consistia em analisar as opções de tecnologias existentes para a oferta de serviço banda larga, escolhendo aquela que fosse mais adequada para o atendimento do mercado em relação ao seu custo benefício, auxiliando no processo de escolha com base na teoria supracitada e acompanhar a implantação do modelo escolhido em campo para

certificação da entrega do produto. Para tal foi feita uma análise técnica, econômica e financeira a fim de demonstrar qual é mais viável para ser empregada: par metálico ou GPON.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para o projeto foram orçados equipamentos de dois fabricantes diferentes, por serem os que estão presentes em maior escala na rede da Algar. Para o uso de cobre, foi orçado um MSAN (*Multi-Service Access Node* ou Node de Acesso Multi-serviço) Keymile com 576 portas combo, ou seja, que atenda voz e dados. O MSAN deve ser entendido como um DSLAM, porém que combina também o serviço de voz no mesmo equipamento. Já para o GPON foi utilizado a cotação de uma OLT Huawei com 40 portas PON para atendimento de até 2560 clientes *triple play*.

4.1 Par metálico

Em primeiro lugar foi realizado um levantamento de custos para a instalação do meio de transmissão baseado em fios de cobre, datado de dezembro de 2016. Tais valores podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3 - Orçamento rede de cobre



QUANTIFICAÇÃO DE OBRA DE CONSTRUÇÃO DE REDE
--

LOCALIDADE	UBERABA - MG		PROJETO	MSAN JARDIM ITÁLIA	
REGIONAL	URA		PROGRAMA	NOVOS BAIROS 2016	
ESTAÇÃO	MSAN JARDIM ITÁLIA		BAIRRO	JD ITÁLIA/RESAROEIRAS	
DATA	15/12/2016		Nº DO PROJETO	ALGAR-20/2016	
REDE			CANALIZAÇÃO		PROJETO
MÃO DE OBRA	CABOS	MISSELANEOS	MÃO DE OBRA	DUTOS	UP
R\$ 88.435,30	R\$ 55.645,29	R\$ 7.500,00	R\$ 27.940,78	R\$ 3.953,00	R\$ 14.118,28
VALOR GERAL DA OBRA			R\$ 197.592,65		

Fonte: Algar Telecom

Os dados acima se referem apenas ao cabeamento entre as estações e as áreas atendidas pela rede. A parte instrumental está descrita Na Tabela 4, com os valores para a possível aquisição do MSAN Keymile.

Tabela 4 - Orçamento MSAN Keymile

ORÇAMENTO MATERIAIS MSAN KEYMILE 576 PORTAS COMBO				
Item	Modelo / Descrição	Qtd	Valor unitário com impostos (R\$)	Preço total com impostos (R\$)
1	COGE3	2,00	R\$ 6.065,00	R\$ 12.130,00
2	SUAD5	9,00	R\$ 3.925,31	R\$ 35.327,79
3	IP SX	1,00	R\$ 5.488,27	R\$ 5.488,27
4	CHASSI 2510	1,00	R\$ 5.030,92	R\$ 5.030,92
5	LICENÇA DE USO DE SOFTWARE VDSL MILEGATE KEYMILE	1,00	R\$ 4.680,90	R\$ 4.680,90
6	SUPC5	9,00	R\$ 3.829,50	R\$ 34.465,50
7	CB SUPC5 5M	9,00	R\$ 373,74	R\$ 3.363,66
8	FANU4	1,00	R\$ 1.784,00	R\$ 1.784,00
TOTAL	R\$ 102.271,04			

Fonte: Algar Telecom

Quando nos referimos a um MSAN, imaginamos que se trata de um equipamento único. Porém como podemos ver, ele é composto de várias partes moduláveis. A principal seria o Chassi, descrito pelo item 4. Ele é a base onde são alocadas as placas SUAD5 e SUPC5 (itens 2 e 6 respectivamente), que são as placas onde estão as conexões que ligamos os cabos dos assinantes. Tais cabos são inseridos nas placas principais controladoras que gerem os perfis de assinantes, chamadas de COGE no caso da controladora de dados (item 1), e IPSX (item 3) no caso de voz. Somam-se a isso os cabos de conexão das placas (item 7) e as FANs (item 8) que são os ventiladores responsáveis pela manutenção da temperatura na faixa de trabalho dentro das caixas.

4.2 GPON

Posteriormente foi desenvolvido o mesmo trabalho, porém para a utilização de uma rede óptica, isso já em fevereiro de 2017, como mostrado na Tabela 5 Tabela 5.

Tabela 5 - Orçamento rede óptica

 QUANTIFICAÇÃO DE OBRA DE CONSTRUÇÃO DE REDE					
LOCALIDADE	UBERABA - MG		PROJETO	GPON JD. ITÁLIA - RES. AROEIRAS	
REGIONAL	URA		PROGRAMA	REDE ÓPTICA GPON	
ESTAÇÃO	URA-08		BAIRRO	JD. ITÁLIA - RES. AROEIRAS	
DATA	18/02/2017		Nº DO PROJETO	ALGAR-URA-007/2017	
REDE			CANALIZAÇÃO		PROJETO
MÃO DE OBRA	CABOS	MISSELANEOS	MÃO DE OBRA	DUTOS	UP
R\$ 109.663,58	R\$ 32.892,12	R\$ 17.060,00	N/A	N/A	R\$ 13.747,35
VALOR GERAL DA OBRA			R\$ 173.363,05		

Fonte: Algar Telecom

Já a Tabela 6 mostra os valores relativos à aquisição de uma OLT:

Tabela 6 - Orçamento OLT *Huawei*

ORÇAMENTO MATERIAIS OLT HUAWEI						
Item	Modelo / Descrição	Qtd	Valor unitário sem impostos (R\$)	Valor unitário com impostos (R\$)	Preço total sem impostos (R\$)	Preço total com impostos (R\$)
1	MODULO PLACA CONTROLADORA MA5600T/5603T HUAWEI	2,00	R\$ 3.584,20	R\$ 4.925,45	R\$ 7.168,40	R\$ 9.850,90
2	MODULO PLACA UPLINK 2 PORTAS 10GE HUAWEI	1,00	R\$ 973,04	R\$ 1.337,16	R\$ 973,04	R\$ 1.337,16
4	MODULO PLACA DE SERVICO GPON 8 PORTAS HUAWEI	1,00	R\$ 14.218,58	R\$ 19.539,37	R\$ 14.218,58	R\$ 19.539,37
5	MODULO PLACA DE SERVICO GPON 16 PORTAS HUAWEI	2,00	R\$ 25.583,13	R\$ 35.156,69	R\$ 51.166,26	R\$ 70.313,38
6	MODULO SFP 10GB/S LC M 10KM HUAWEI	2,00	R\$ 522,88	R\$ 718,55	R\$ 1.045,77	R\$ 1.437,10
7	SUB RACK MA5603T HUAWEI	1,00	R\$ 750,34	R\$ 984,24	R\$ 750,34	R\$ 984,24
TOTAL					75.322,39	103.462,15

Fonte: Algar Telecom

Os valores foram todos expostos indicando a quantidade de imposto que incide sobre o produto. Isso é devido ao fato dos equipamentos serem todos importados. Espera-se, entretanto, que esses valores caiam a médio prazo, seja com a nacionalização da produção ou que o governo passe a incentivar mais essas novas tecnologias, como já aconteceu anteriormente para outros modelos.

Além disso, nota-se também que existe a modulação da OLT. Isso acontece em grande parte para facilitar a manutenção e identificação de problemas. Enquanto o MSAN possui o chamado *chassi*, a OLT tem uma base nomeada de sub *rack* (item 7), que é a parte principal que faz a junção de todos os módulos. Também existe um módulo controlador, que são aplicadas as regras de *firewall* no acesso dos clientes. Esse módulo faz toda operação para fechar a comunicação entre a OLT e o *switch* de acesso (item 1). A OLT é então ligada a rede

metro da operadora através dos módulos de *uplink*, que é por onde chegará a banda que será distribuída entre os clientes. Neste caso utilizamos um único módulo de 10Gbps, acompanhado do conector chamado FSP, mostrado na Figura 12, que é o conector que faz a interface da fibra óptica que chega da rede ao equipamento, mostrados nos itens 2 e 6 respectivamente. É bom ressaltar, entretanto, que essa capacidade poderá ser expandida futuramente instalando-se mais módulos como este.

Figura 12 - Conector SFP



Fonte: [25]

Por fim são instaladas as placas de assinantes, que são onde chegam as fibras que se conectam aos *splitters* e em último caso às ONUs dos clientes. Aqui utilizamos três módulos de serviço, totalizando 40 portas (itens 4 e 5).

4.3 Análise comparativa

4.3.1 Custos de instalação

Tal trabalho de precificação foi desenvolvido por uma consultoria especializada em orçamentos, tendo seu valor devidamente especificado. A priori podemos destacar a diferença entre os valores, sendo **R\$ 14.118,28** o referente ao par metálico contra **R\$ 13.747,35** do sistema óptico. Isso pode ser explicado pela maior simplicidade de *design* da rede. Enquanto no cobre todos os tamanhos de enlace entre os concentradores e o cliente final devem ser considerados e devidamente calculados, no FTTH essa tarefa se torna muito mais simples, já que a atenuação imposta pelo meio é praticamente irrelevante ao cliente final, sendo necessários apenas os cálculos das atenuações presentes até a CTOE (caixa de terminação óptica).

Outra diferença é a canalização, inexistente para as fibras ópticas que foram lançadas praticamente todas aéreas. Isso é possível porque a rede óptica é muito mais leve que fios de cobre, já que em entroncamentos por onde passam muitos cabos, é comum a necessidade de dutos para a passagem dos fios metálicos devido ao seu grande peso e volume. Isso acaba gerando uma grande economia em um projeto como este. Além de serem mais leves, as fibras ópticas hoje são mais baratas que os cabos metálicos. Podemos reparar, aliás, a grande diferença entre os valores: enquanto o par metálico requer **R\$ 55.645,29**, para a fibra seriam necessários apenas **R\$ 32.892,12**. Ou seja, uma economia de aproximadamente 40,9% do valor.

Entretanto, o valor da mão de obra para o trabalho em fibra óptica ainda é 24% maior. Isso se deve ao fato de que é necessária uma mão de obra altamente especializada para seu manuseio em comparação à requerida pelos pares metálicos, que por já estar há bastante tempo no mercado, já possuem um mercado de trabalho mais desenvolvido e com maior fartura de profissionais. Mas é sempre bom lembrar que com o estabelecimento do mercado para essa área, este é um fator que deve se extinguir no médio/longo prazo.

Também diferem nos custos dos miscelâneos, que é como são chamados os itens menores necessários para a criação da rede, como por exemplo: abraçadeiras, conectores, as chamadas raquetes para a criação de reservas de cabos, dentre outros objetos. Esse agrupamento é feito para facilitar o dimensionamento, já que são vários tipos de itens englobados, normalmente baratos individualmente e que apenas dificultaria o entendimento.

O MSAN, já contando as licenças necessárias para o uso, tem custo de **R\$ 102.271,04** como mostrado na Tabela 4. Considerando a capacidade total de assinantes (576 portas), teríamos um custo de R\$177,55 por assinante.

Já para a OLT, como exposto cada porta PON pode realizar o acesso de até 64 clientes, respeitando-se os limites de banda de cada porta, ou seja, 2.5Gbps. Neste caso, portanto, podemos atender até 2560 assinantes, a depender do modelo de “splitagem” utilizado, o que resultaria em um custo de apenas R\$40,40 por conexão de cada assinante. Porém estes valores são difíceis de conseguir na prática devido às diferentes necessidades de banda dos assinantes, mesmo que vizinhos. O mais comum é que cada porta abrigue por volta de 25 clientes, considerando uma largura de banda média aproximada de 100 Mbps por assinante. Neste cenário teríamos então até 1000 clientes atendidos, o que resulta numa proporção 73,6% maior em relação ao par metálico, mesmo com o custo dos equipamentos aproximadamente idênticos.

4.3.2 Retorno financeiro

A Algar Telecom oferece hoje em Uberaba os planos de 2Mbps, 4Mbps, 6Mbps, 10Mbps, 20Mbps, 40Mbps, 60Mbps, 100Mbps e 200Mbps, como mostrado na Figura 13:

Figura 13 - Planos oferecidos pela Algar

The screenshot shows the Algar Telecom website interface for building a service package. At the top, the Algar Telecom logo is on the left, and navigation links for 'Monte seu Pacote', 'Internet', and 'Celular' are on the right. Below the logo, the heading 'Monte seu Pacote' is displayed. A section for 'Você está comprando para quem?' (Who are you buying for?) has two buttons: 'PARA VOCÊ' (selected) and 'PARA SUA EMPRESA'. To the right, 'Onde você está?' (Where are you?) shows 'MG' and 'Uberaba'. The main section is titled 'Escolha um Plano ou Monte seu Pacote' and is divided into three columns:

- Banda Larga:** A grid of speed options: 2Mb, 4Mb, 6Mb, 10Mb, 20Mb (highlighted), 40Mb, 60Mb, 100Mb, and 200Mb.
- Telefone Fixo:** A single option: 'FRANQUIA 2 700 MINUTOS'.
- TV:** A grid of channel packages:
 - ESSENCIAL 2016 88 CANAIS
 - NA MEDIDA 2016 126 CANAIS
 - NA MEDIDA HD 2016 108 CANAIS (24 HD)
 - COMPLETO 2016 135 CANAIS
 - COMPLETO HD 2016 136 CANAIS (37 HD)

Fonte: [27]

Os planos com velocidades a partir de 60Mbps só são possíveis em regiões atendidas por GPON, já que tecnologias xDSL não suportam tal serviço.

E este crescimento na procura por maiores bandas é certamente benéfico para a empresa, já que é um produto com alto grau de valor agregado. Na Figura 14 podemos observar os valores relativos aos planos oferecidos.

Figura 14- Valores planos de acesso à internet

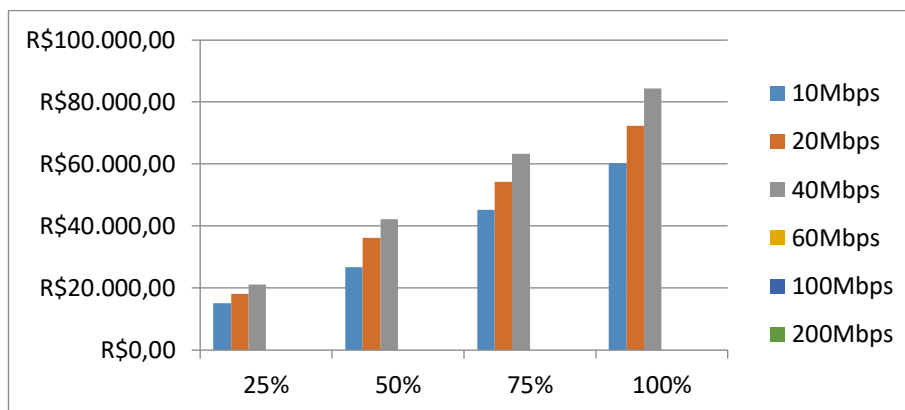
<p>Você está pedindo:</p> <p>Internet Banda Larga 10Mb R\$ 104,59/mês</p> <p>[Remover]</p>	<p>Você está pedindo:</p> <p>Internet Banda Larga 20Mb R\$ 125,58/mês</p> <p>[Remover]</p>
<p>Você está pedindo:</p> <p>Internet Banda Larga 40Mb R\$ 146,58/mês</p> <p>[Remover]</p>	<p>Você está pedindo:</p> <p>Internet Banda Larga 60Mb R\$ 188,50/mês</p> <p>[Remover]</p>
<p>Você está pedindo:</p> <p>Internet Banda Larga 100Mb R\$ 209,50/mês</p> <p>[Remover]</p>	<p>Você está pedindo:</p> <p>Internet Banda Larga 200Mb R\$ 251,46/mês</p> <p>[Remover]</p>

Fonte: Adaptado de [27]

Para esta análise os planos menores que 10Mbps foram desconsiderados, pois já estão sendo extintos por questões de demanda de mercado.

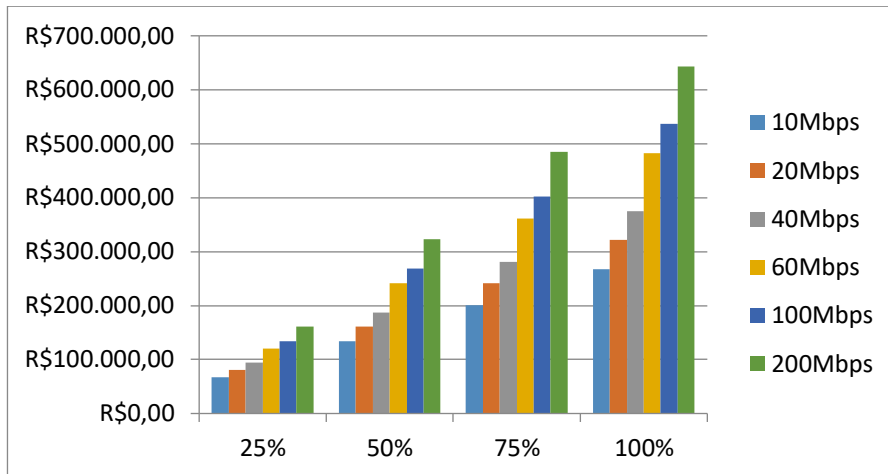
Fazendo um exercício comparativo hipotético, podemos determinar qual seria o retorno em cada tecnologia pelo número de clientes que cada uma suporta. Como exposto, o MSAN orçado suportaria até 576 clientes enquanto o GPON comporta até 2560. Os gráficos abaixo mostram qual o retorno mensal esperado em vários cenários de utilização dos equipamentos, que varam entre 25% até 100% das posições disponíveis.

Figura 15 – Gráfico de retorno MSAN



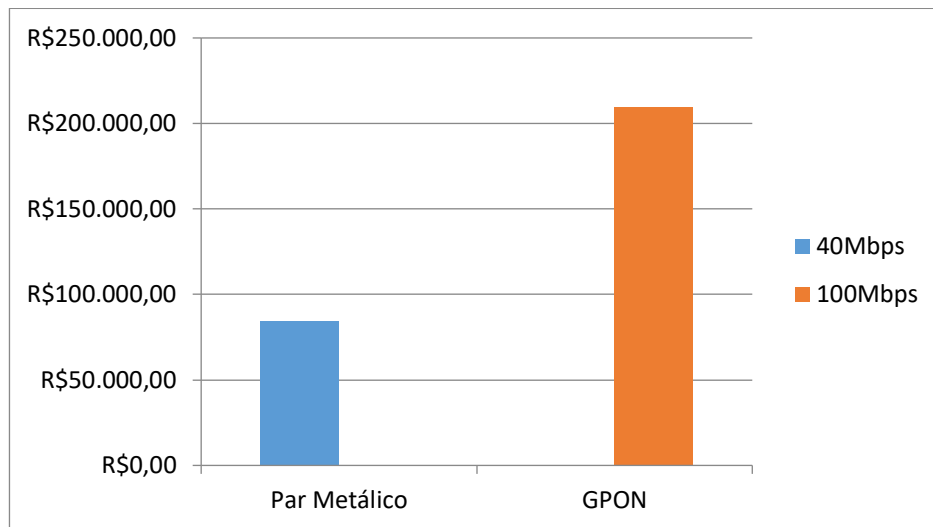
Os dados apresentados na Figura 15 mostra gráficos relativos ao MSAN. Neste caso foram categorizados apenas os planos de até 40Mbps já que é o máximo suportado pelos equipamentos.

Figura 16 - Grafico de retorno GPON



Já a Figura 16 mostra resultados esperados para o GPON, onde os planos são possíveis até 200Mbps. Neste caso os retornos seriam muito maiores. Lembrando que este é apenas um exercício especulativo já que é impossível atender todos os 2560 clientes com bandas de 200Mbps devido à limitação de tráfego da tecnologia de 2.5Gbps por porta PON. Em um cenário factível, podemos considerar o que foi dito no item 4.3.1: que na média, cada cliente utilizará 100Mbps de banda, resultando em 25 clientes por porta PON. Neste caso, para as 40 portas, teríamos contemplado o atendimento de 1000 residências. Chegaríamos então aos seguintes números apresentados na Figura 17.

Figura 17 - Gráfico comparativo MSAN vs GPON



4.3.3 Tecnologia escolhida

Diante do exposto acima, decidiu-se pela implantação de solução GPON para o atendimento dos clientes.

Considerando o custo total de instalação de **R\$276.825,20** do GPON, isso significa que apenas um mês de plena operação já seria suficiente para o retorno de 75,67% do valor investido, sem considerar os custos de manutenção do sistema. Estes valores, apesar de serem extremamente empolgantes, são difíceis de serem alcançados, pois a venda de pacotes é gradativa e não linear. Foi devido a este fator que apenas a placa de 8 portas foi colocada em operação, como pode ser visto no item 4.4.2. Assim, hoje, a capacidade instalada do equipamento poderia suprir até 200 clientes (considerando a banda média de 100Mbps/cliente). Para este cenário, tem-se uma entrada de caixa de R\$41.900 mensais, o que representa 15,13% do investimento. Neste caso, seriam necessários pelo menos 7 meses de operação para o retorno do investimento realizado. As demais placas de 16 portas ficarão armazenadas aguardando a necessidade de ampliação.

Deve-se ressaltar, contudo, que as análises foram feitas desconsiderando os custos de manutenção como energia dos equipamentos, mão de obra dos funcionários, e até mesmo o valor agregado dos equipamentos que realizam o acesso do tráfego à rede da operadora. Isso foi feito devido à dificuldade de se mensurar tais gastos, o que, entretanto, não inviabiliza o entendimento de que esse é um investimento altamente vantajoso para a empresa.

4.4 Instalação da solução

Diante do exposto acima, decidiu-se pela implantação de solução GPON para o atendimento dos clientes. Para este trabalho foi derivado um cabo óptico AS80G de 24 Fibras, de DGO (Distribuidor Geral Óptico) já existente alocado em rack na estação chamada URA08 – Valim de Melo. A partir do DGO o cabo seguiu em infraestrutura também já existente até acessar uma rede subterrânea, seguindo até uma caixa de passagem na Rua Umarama, esquina com a Rua Norma M. Rezende. A partir daí foi feito o acesso à rede aérea através de duto lateral com cabo óptico espinado junto à rede de postes da CEMIG, chegando até os bairros atendidos, onde foram distribuídas 48 CTOE's, sendo ainda 8 de reserva para ampliação futura.

Na Figura 18 foram destacados com marcadores o local no mapa onde se encontra a ELR e onde é a área efetiva de distribuição a clientes.

Figura 18 - Projeto URA-Valim de Melo



Fonte: Algar Telecom

A distância entre os pontos tem um total de 1594 metros. Tal distanciamento em GPON é totalmente possível, já que aqui a atenuação imposta pela fibra é praticamente irrelevante ao projeto, visto que, como mencionado, uma fibra adiciona apenas 0,2dB de atenuação por km percorrido. O trajeto em via aérea foi feito com a utilização de *spinner*, que é como se chama a amarração das fibras entre os postes. Outra opção seria utilizar cabos auto-sustentados que dispensassem a necessidade de “espinagem”. Porém essas são características

que fogem do escopo de decisão de quem planeja a rede, pois depende principalmente da estrutura física das ruas onde serão passados os cabos [17].

Atualmente nota-se uma tendência à utilização de cabos subterrâneos, tanto pela segurança de se evitar rompimentos pela exposição do cabo quando pela melhor estética das ruas. Porém esta ainda é uma realidade incipiente no Brasil, vista apenas em projetos pilotos e projetos ainda não iniciados. São Paulo, por exemplo, já possui iniciativas neste sentido [17], com estudos orçando a substituição total da rede aérea por redes subterrânea em 100 bilhões de reais [18].

4.4.1 Cabeamento

O cabo é levado da estação até o DGO, como exposto acima. Durante o trajeto da fibra, representado pelas linhas vermelhas, são colocadas reservas técnicas, destacada dentro do círculo branco na Figura 19, que são as raquetes citadas no item 3.1. Nela, a fibra é enrolada de forma que quando houver um rompimento próximo, possa ser reparado com essa reserva, dispensando a trabalhosa tarefa de lançarem-se novos cabos nos postes, ilustrado na Figura 20.

Figura 19 - Destaque reserva técnica



Fonte: Algar Telecom

Figura 20 - Raquete de reserva técnica



Fonte: O autor

A partir daí a fibra chega até uma caixa de emendas, onde ocorre a primeira divisão óptica do sinal. Na Figura 21 está destacada a simbolização de uma caixa como essas.

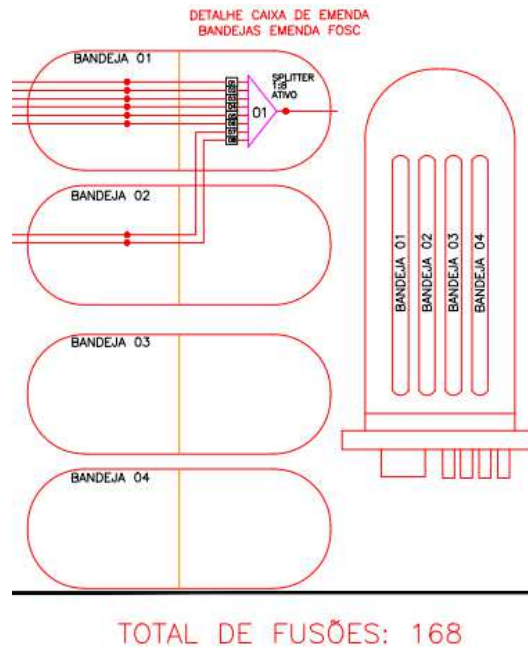
Figura 21 - Destaque caixa de emendas



Fonte: Algar Telecom

Uma caixa de emendas pode ser descrita como um concentrador de *splitters*, onde o sinal principal chega e daí é distribuído para os demais *splitters*. Na Figura 22 é mostrado como é seu esquemático, onde pode-se notar a existência de 4 bandejas de divisão óptica..

Figura 22 - Representativo de uma caixa de emendas.



Fonte: Algar Telecom

Cada bandeja deve ser vista como um *splitter* como os mostrados anteriormente, indo daí para o atendimento dos assinantes. A Figura 23 mostra uma fotografia de uma caixa de emendas aberta que foi inserida na rede durante a execução do projeto. Nela podemos ver claramente a bandeja óptica, com as fibras coloridas acomodadas em círculos.

Figura 23 - Instalação de uma caixa de emendas



Fonte: O autor

As demais bandejas são colocadas paralelas a essa, com as fibras indo daí até as CTOEs para que seja feita a entrega do sinal as ONU's dos clientes. Após finalizado o trabalho de fusão das fibras, a caixa de emendas é fechada e disposta nos fios, como mostra a Figura 24.

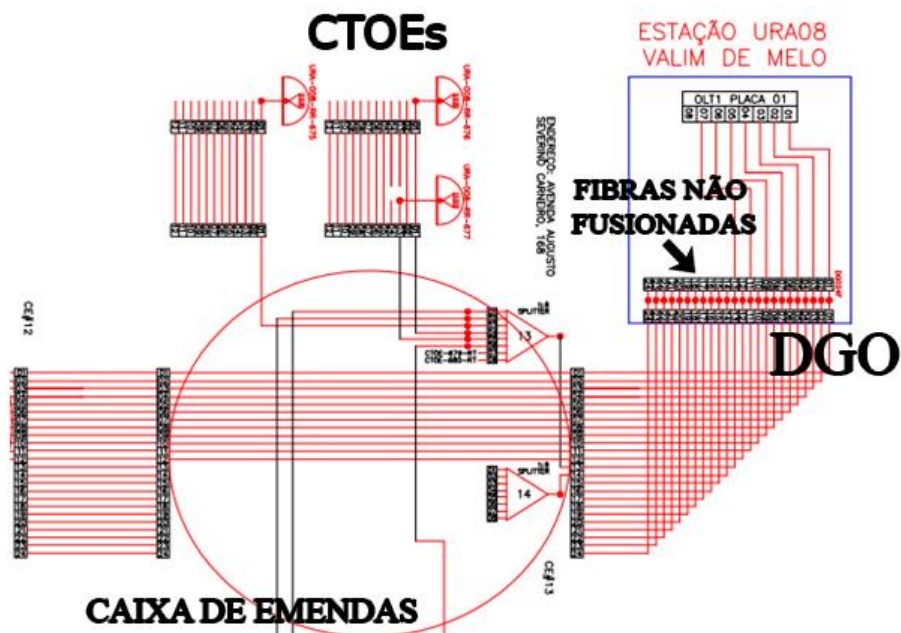
Figura 24 - Caixa de emendas disposta na fiação



Fonte: O autor

Nos *splitters*, cada uma das fibras deve ser fusionada corretamente para que o sinal seja encaminhado. Para isso é criado o diagrama unifilar, que mostra a posição onde cada fibra deve ser ligada. Na Figura 25 vemos o esquemático de como as fibras saem da OLT que se encontra na central e são ligadas ao círculo que é a representação das caixas de emendas.

Figura 25–Diagrama esquemático de fusão de fibras

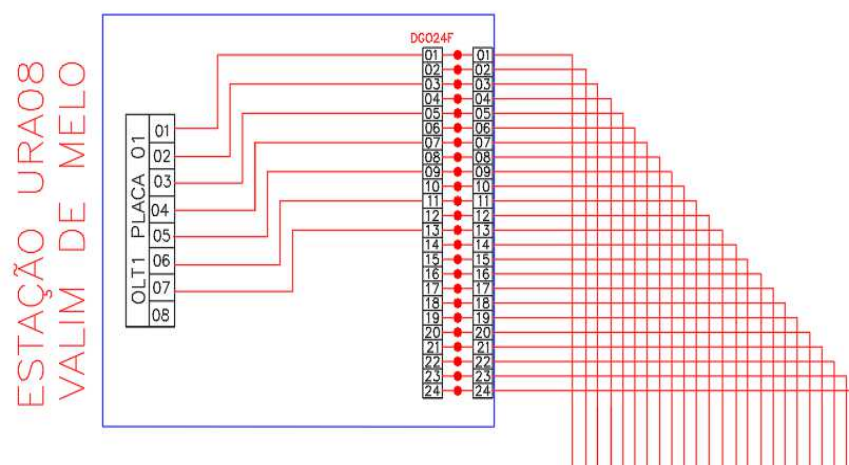


Fonte: Algar Telecom

Nota-se que nem todas as portas existentes no DGO ligado à estação estão preenchidas. Isso é uma tática utilizada no desenvolvimento de projetos para futuras ampliações. Como a OLT possui atualmente apenas uma placa, caso seja necessário a inserção de outra com mais 8 novas portas PON por exemplo, já haverá estrutura física para acomodar os novos assinantes sem a necessidade de alteração na rede externa.

Este processo de subutilizar um equipamento é um procedimento comum em novas estações, por permitir uma possível expansão de uma CTOE que esteja saturada quando necessário. Outra boa prática é, sempre que for ser instalado um novo DGO, que se fusionem todas as fibras para que quando for ser feita a ampliação, não haja retrabalho no cabo e apenas na caixa de emendas. Com isso evitam-se rompimentos e possíveis paradas de clientes. Dito isto, é interessante notar que nem todas as entradas no DGO estão ocupadas, mesmo que todas estejam sendo utilizadas para derivação da fibra. Na Figura 26 foi feita uma ampliação nas conexões da OLT para que se observem melhor tais ligações.

Figura 26 - Destaque fibras OLT URA-Valim de Melo



Fonte: Algar Telecom

Saindo da caixa de emenda o cabo vai para a CTOE, que seria o segundo nível de “splitagem” e que faz a entrega do sinal para a ONU. Para melhor entendimento, na Figura 27 destacadas algumas CTOEs para que fique clara sua simbologia.

Figura 27 - Destaque CTOE



Fonte: Algar Telecom

É importante destacar que cada *splitter* deste segundo nível é responsável por atender o que chamamos de Seção de Logradouro, que é a divisão de qual equipamento é responsável por atender qual casa. No projeto, as divisões entre as seções de logradouros são feitas pela linha lilás, e na Figura 28 foram sombreadas em branco para visualização.

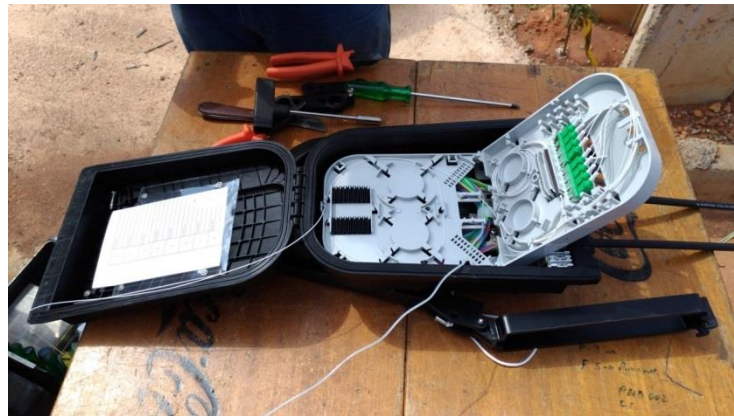
Figura 28 - Destaque seções de logradouro



Fonte: Algar Telecom

É válido ressaltar que cada seção tem sua própria CTOE de acesso, e que as divisões seguem uma lógica a possibilitar a melhor cobertura possível da região. Devido a isso é que podem existir problemas de indisponibilidade de acesso para uma residência, mesmo que a casa vizinha possua, já que mesmo casas vizinhas podem estar compreendidas em seções diferentes. A Figura 29 mostra a instalação de uma CTOE.

Figura 29 - CTOE durante fusionalamento de fibras



Fonte: O autor

As seções de logradouro são divididas para atender, na maioria dos casos, a 50% das residências da área em questão. Isso por questões mercadológicas e de *marketshare*. Tem-se que lembrar que em uma área como a utilizada no estudo haverá outras operadoras disputando mercado, casas que não deverão utilizar serviço nenhum, possibilidade de existência de mais de uma opção de tecnologia na região dentre outros fatores. Além disso, o padrão econômico da região é outro fator determinante para a tecnologia. Normalmente, uma área com residências padrão “A” tende a consumir mais banda, o que vai de encontro ao que o GPON oferece, por terem maior poder aquisitivo do que uma área com classes “C” ou “D”. A próxima etapa foi de instalação da OLT na estação.

4.4.2 Central

No projeto, como mostrado no item 3.1, optou-se por uma OLT Huawei para o atendimento dos clientes. Ela foi alocada na estação URA – Valim de Melo, onde chega a fibra do entroncamento principal que está diretamente ligada à primeira caixa de emendas. A Figura 30 mostra uma montagem de fotografias tiradas para mostrar ao leitor o aspecto físico do equipamento.

Figura 30 – (a) Portas PON da OLT. (b) Portas *uplink*.

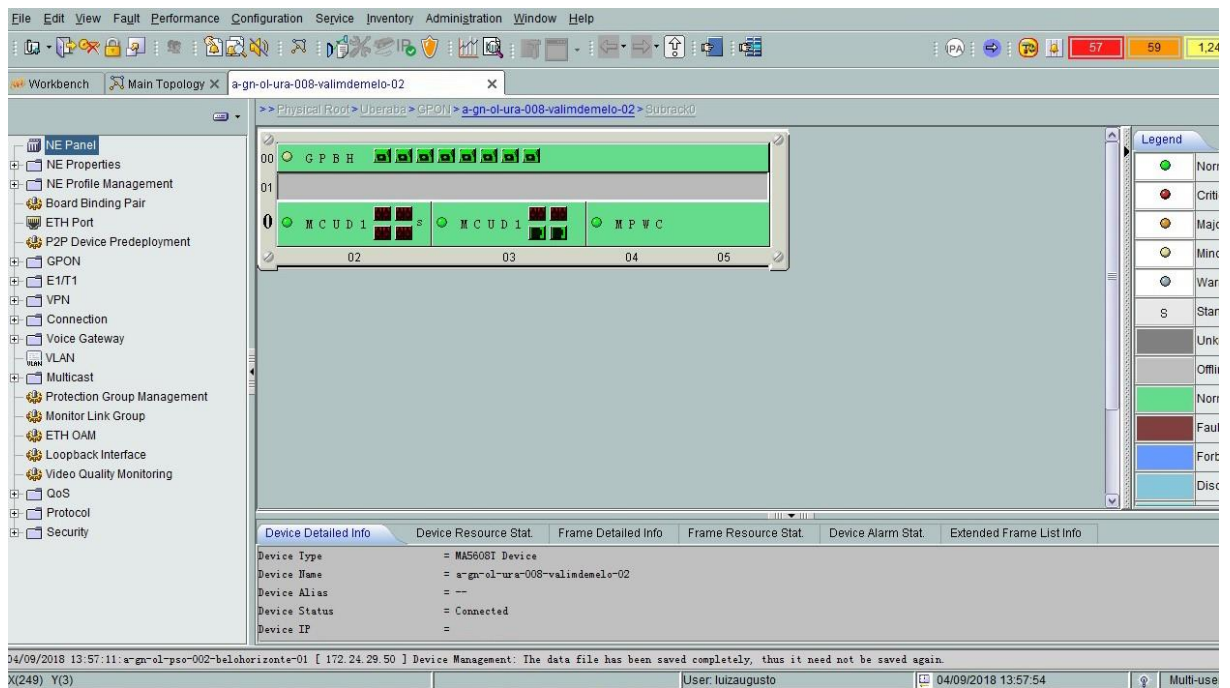


Fonte: O autor

Figura 30 (a), no momento que foi feito o registro, apenas uma das placas de serviço estava em produção, com três portas PON em operação, que são onde as fibras (fios azuis e amarelos) estão ligadas (portas 1, 2 e 4 na parte superior do equipamento).

Na Figura 30 (b) é possível ver também outras 8 portas em uma placa menor. Esta placa é a placa de *uplink*, que é onde sobem as conexões com os *switches* da rede metro, que farão a disponibilização do enlace que será compartilhado pelos assinantes. Tendo sido devidamente configurado, o equipamento foi posto em utilização na rede, sendo monitorado remotamente via rede de dados, como mostrado na Figura 31.

Figura 31 - Gerência OLT Huawei



A imagem foi modificada a fim de ocultar dados sigilosos como IPs e configurações utilizadas. Por meio da gerência é possível controlar a OLT remotamente, alterando vários de seus processos, bem como realizar o monitoramento de funcionamento do link dos clientes, garantindo que o serviço esteja sempre funcional ao assinante.

5 CONCLUSÃO

A tecnologia GPON é uma rede onde hoje a limitação de banda é devido aos equipamentos utilizados, e não devido ao meio óptico. Possui um custo relativamente elevado para implantação devido ao fato de ser uma rede totalmente nova e não usar nenhum legado, porém se mostra disparada a melhor opção pela garantia hoje de um longo futuro longo como rede de acesso devido à sua escalabilidade, capacidade de fornecimento de altas taxas de bandas para usuários e a entrega de vários serviços através de um único enlace.

Conclui-se então que a rede óptica tem um custo de implantação aproximadamente 14% menor em relação à rede metálica, e que essa diferença ainda deve ser maior num futuro próximo com o aumento da mão de obra especializada disponível. Além disso, uma fibra óptica já é hoje mais barata que o par trançado de cobre, mesmo tendo capacidade muito superior para o tráfego de dados.

Desconsiderando-se a rede de transmissão, a parte de equipamentos entre as tecnologias tem preço equivalente hoje em dia, muito em função dos altos impostos que incidem sobre os produtos importados do GPON, e que devem, no médio prazo, convergir para valores mais acessíveis às operadoras, aumentando ainda mais a vantagem das tecnologias ópticas.

Entretanto devemos ressaltar a pontualidade do estudo feito, pois toda a parte estrutural se refere apenas a este caso específico. Tais resultados podem variar bruscamente em situações distintas da que foi apresentada. Neste caso novos estudos poderão ser realizados em diferentes cenários, para colocar a prova os resultados obtidos para esta tecnologia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Tele Síntese. Tráfego Velocidade média de conexão no Brasil. Disponível em: <<http://www.telesintese.com.br/velocidade-media-de-conexao-internet-pais-e-de-41-mbps/>> Acesso em: 01. Mar. 2018.
- [2] Canaltech. Banda larga Brasil. Disponível em: <<https://canaltech.com.br/internet/banda-larga-no-brasil- apenas-505-das-conexoes-sao-fibra-optica-57475/>> Acesso em: 01. Mar. 2018.
- [3] Broadband. Porque a largura de banda depende da distância. Disponível em: <https://www.broadbandspeedchecker.co.uk/guides/adsl_and_distance.aspx> Acesso em: 01. Mar. 2018.
- [4] KEISER, G. “Comunicações por fibras ópticas”, AMGH editora Ltda, 2014.
- [5] ROGERS, Alan. J. “Understanding optical fiber communications”, Artech House optoelectronics library, 2001.
- [6] DUTTON, H. J. R. “Understanding optical communications”, Internatinal Business Machines, 1998.
- [7] SENIOR, John M. “Optical fibre communications: Principles and practice” – 2nd ed, Prentice Hall, 1992.
- [8] KAZOVSKY, L. BENEDETTO, S. WILLNER, A. “Optical fiber communication systems”, Artech House, Inc. 1996.
- [9] COELHO, Sara C. R. “Fibra óptica na rede de acesso: Tecnologias e soluções”, Aveiro – Portugal. Disponível em <<http://hdl.handle.net/10773/7435>>. Acesso em 01. Abr. 2018.
- [10] SILVA, Andre F. R. “Redes PON: Novas tecnologias e tendências”, 2013.
- [11] SUMANPREET. DEWRA, S. “A review on Gigabit Passive Optical Network”. International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering. Vol 3, Março 2014.
- [12] Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics. Disponível em: <<https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1/en>> Acesso em: 02. Fev. 2018.
- [13] PRAT, J. “ Next-Generation FTTH Passive Optical Networks”. Springer, 2008.
- [14] Splitter Óptico 1xN Balanceado. Furukawa. Disponível em: < http://www.comunitelsa.com.ar/admin_temp/cod_6009-6010.pdf>. Acesso em 10. Mar. 2018.
- [15] Pesquisa de Satisfação e Qualidade Percebida. Anatel 2017. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/Portal/verificaDocumentos/documento.asp?numeroPublicacao=347952&assuntoPublicacao=null&caminhoRel=null&filtro=1&documentoPath=347952.pdf>>. Acesso em 10. Mar. 2018.

- [16] Lucro Algar Telecom cresce no quarto trimestre. Jornal Valor Econômico. Disponível em: <<http://www.valor.com.br/empresas/5343637/lucro-da-algar-telecom-cresce-108-no-quarto-trimestre>>. Acesso em 10. Mar. 2018.
- [17] Iniciativa de enterrar fios em São Paulo. Jornal Globo. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/doria-anuncia-acordo-para-enterrar-52-km-de-fios-e-remover-postes-em-sp.ghtml>>. Acesso em 10. Mar. 2018.
- [18] Enterrar os fios de São Paulo. Jornal Folha de São Paulo. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/fsp/cotidian/ff1306201104.htm>>. Acesso em 10. Mar. 2018.
- [19] FILGUEIRAS, G. M. PESSOA, C. R. “FTTH em Redes Ópticas Passivas”. 2015. Universidade Fumec.
- [20] JAMES, O. FARMER. “A comparison of PON architectures”. 2008. NCTA Technical Papers.
- [21] FS.COM. The Advantages and Disadvantages of Optical Fiber. 2018. Disponível em: <<https://community.fs.com/blog/the-advantages-and-disadvantages-of-optical-fibers.html>>. Acesso em: 05 maio 2018.
- [22] REDES&CIA (São Paulo). Soluções em Engenharia e Telecomunicações. Disponível em: <www.redesecia.com.br>. Acesso em: 05 abril 2018.
- [23] TECHNOLOGIES, Huawei. Next-Generation PON Evolution. Disponível em: <www.huawei.com>. Acesso em: 10 mar. 2018.
- [24] VERSA TECHNOLOGY. DSLAM Definition. Disponível em: <<https://www.versatek.com/blog/what-is-dslam>>. Acesso em: 17 maio 2018.
- [25] MINI Gbic - Cisco - SFP-10G-LR= - 10GBASE-LR SFP Module. Disponível em: <<https://www.shopfive.com.br/mini-gbic-cisco-sfp-10g-lr-10gbase-lr-sfp-module>>. Acesso em: 20 abr. 2018.
- [26] PON- Passive Optical Network, EPON v/s GPON. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/pon-passive-optical-network-epon-vs-gpon-piyush-bajpayee>>. Acesso em: 15 mar. 2018.
- [27] ALGAR TELECOM. Disponível em: <<https://algartelecom.com.br/para-voce/>>. Acesso em: 09 maio 2018.