

PROJETO DE REDE ÓPTICA DE ACESSO PARA O MUNICÍPIO DE BOM LUGAR/MA

Data de aceite: 01/09/2023

Breno Batista

Universidade Estadual do Maranhão –
UEMA
São Luís, Maranhão
<https://orcid.org/0009-0006-1812-0950>

Paulo Fernandes da Silva Junior

Universidade Estadual do Maranhão –
UEMA
São Luís, Maranhão
<https://orcid.org/0000-0001-6088-6446>

Carlos Magno Sousa Júnior

Universidade Estadual do Maranhão –
UEMA
São Luís, Maranhão
<https://orcid.org/0000-0002-3384-2672>

RESUMO: Neste trabalho é proposto o projeto de infraestrutura óptica de Internet banda larga para o município Bom Lugar/MA. A internet de banda larga pode estimular o desenvolvimento econômico e social da região. No desenvolvimento do projeto é proposto um sistema de comunicação via fibra óptica através da tecnologia de Rede Óptica Passiva Gigabit. Com esta tecnologia, a fibra óptica é usada até a residência. A partir do trabalho realizado pode-se avaliar que existe viabilidade

técnica e econômica para implementação da rede com dispositivos ópticos passivos.

PALAVRAS-CHAVE: Internet banda larga; fibra óptica; rede óptica passiva; fibra até a residência; infraestrutura.

OPTICAL ACCESS NETWORK PROJECT FOR THE MUNICIPALITY OF BOM LUGAR/MA

ABSTRACT: This work proposes the project of broadband Internet optical infrastructure for the city of Bom Lugar/MA. Broadband internet can stimulate economic and social development in the region. In the development of the project, a communication system via optical fiber is proposed using the technology of Gigabit Passive Optical Network. With this technology, fiber optics is used all the way to the home. From the work carried out, it can be evaluated that there is technical and economic viability for the implementation of the network with passive optical devices.

KEYWORDS: Broadband Internet; optical fiber; passive optical network; fiber to the home; infrastructure.

1 | INTRODUÇÃO

A crescente demanda por largura de banda, o aumento do tráfego de dados, impulsionado pela internet e a emergente implantação de tecnologias como internet das coisas (Internet of Things - IoT), 5G e a computação em nuvem (Cloud Computing - CC) vem tornando cada vez mais importante que redes de acesso sejam capazes de suportar essa crescente demanda. O tráfego global de internet vem dobrando a cada dois anos. A Netflix recomenda uma conexão de 25 Mbps para assistir a vídeos com qualidade Ultra HD. Isso significa que para uma família com quatro dispositivos conectados, e um plano de internet de 100 Mbps, podem facilmente atingir a capacidade máxima (COMMSCOPE, 2018). Todos esses fatores fazem a tecnologia de fibra óptica desempenhar um papel vital na construção de redes de acesso modernas e eficientes. Sua capacidade de transmitir grandes volumes de dados a altas velocidades, sua imunidade a interferências eletromagnéticas, e sua segurança a tornam a escolha ideal para atender às demandas de conectividade da sociedade.

Dentro deste contexto, pesquisadores e engenheiros de todo o mundo vêm trabalhando no desenvolvimento de tecnologias de acesso à internet com capacidade de largura de banda e latência capazes de suprir a atual e futura demanda do mercado. Devido as propriedades da luz e as técnicas avançadas de modulação e multiplexação, a capacidade de transmissão máxima de dados de uma fibra óptica é extremamente alta. Com a tecnologia atual ainda não é possível fazer uso de todo potencial da fibra óptica, mas a capacidade de uma única fibra óptica pode chegar a vários terabits por segundo (Tbps), o que faz dela o meio de comunicação mais promissor nessa corrida.

Em Li et al (2019), é proposto a implementação de uma arquitetura de rede óptica que torne possível a comunicação direta entre ONUs (Optical Network Unit) e melhore a escalabilidade e confiabilidade das redes ópticas. Nesta arquitetura, as camadas de convergência e de acesso à rede devem se juntar através de uma topologia em anel com duas fibras e três comprimentos de ondas alocados para a comunicação entre as ONUs.

Em outro trabalho aplicável em redes PON é proposto o uso de NFV (Network Function Virtualization), SDN (Software Defined Networking) e TWDM-PON (Time Wavelength Division Multiplexing), com o intuito de tornar possível o uso de OAN (Open Access Network). Através do OAN diferentes operadores poderiam colaborar de forma eficiente no compartilhamento da infraestrutura para ofertar variados tipos de serviço (PAKPAHAN; HWANG, 2023).

Devido os custos de manutenção e demanda por localização de falhas mais eficiente em redes ópticas passivas, Jiang et al. (2023), realizou o treinamento de uma rede neural com base em Redes Neurais de Memória de Longo Prazo (LSTM – Long Short-Term Memory Networks) para realizar previsões em tempo real de falhas. Os resultados demonstraram eficácia do esquema proposto, o que pode proporcionar um monitoramento mais eficiente,

manutenção proativa e redução de custo associados a interrupções de serviço.

O uso da multiplexação por divisão de frequência ortogonal (OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing), junto ao filtro digital de acesso múltiplo (DFMA – Digital Filter Multiple Access) em redes ópticas passivas, mostrou-se através de simulações ser muito mais eficiente que redes ópticas passiva DFMA. A capacidade de recuperar múltiplos canais utilizando uma única operação FFT (Fast Fourier Transform – Transformada Rápida de Fourier) resultou em maior eficiência computacional, melhor desempenho e maior tolerância a certas interferências ópticas (TYAGI; GIDDINGS; TANG, 2022).

Neste trabalho foi elaborado um projeto de rede óptica de acesso para o município de Bom Lugar/MA. De acordo com dados da ANATEL (2023), Bom Lugar vem tendo em torno de 18 acessos à internet banda larga fixa por mês desde 2019. Destes 18 acessos, apenas 2 são através de fibra óptica. A construção de uma infraestrutura de rede óptica de acesso à internet torna possível a interconexão dos cidadãos do município a recursos tecnológicos que tornam melhor a gestão de recursos e acesso a informações em tempo real. Além dos cidadãos, funcionários públicos que trabalham na rede pública municipal de ensino e de saúde poderão usufruir de tecnologias que devem tornar mais eficiente a comunicação, agendamentos e controle de registros.

2 | SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO

Os modernos sistemas de comunicação são essenciais para o desenvolvimento cultural, econômico e científico da sociedade, pois informações estão constantemente sendo geradas e transmitidas para toda parte do planeta. De acordo com Haykin e Moher (2008), um sistema de comunicação é composto por diversos componentes interconectados que desempenham funções específicas para garantir a transmissão e recepção adequadas dos dados. Para que haja comunicação entre pelo menos dois pontos, é necessário que o sistema tenha pelo menos um transmissor, um meio de transmissão e um receptor. Além destes elementos, há outros fatores que são característicos, tais como ruído, capacidade do canal e processamento de sinal.

O transmissor é um componente essencial responsável por converter a informação em um formato adequado para a transmissão. Isso envolve processos como codificação, modulação e amplificação do sinal. Através desse processo, o transmissor garante que a informação seja transmitida de forma eficiente e compatível com o meio. Outro componente essencial é o receptor. Ele é responsável por receber o sinal transmitido e convertê-lo para sua forma original de maneira precisa e confiável, mesmo quando o sinal é afetado pelo ruído e outros efeitos indesejados. O processo realizado por ele é de demodulação, detecção de erros e filtragem do sinal.

O meio de transmissão é o canal físico por onde o sinal é propagado. Este meio pode ser um cabo elétrico, uma fibra óptica, ar ou qualquer outro meio utilizado para transportar

o sinal de ponto a outro. O meio de transmissão pode introduzir distorções, atenuação, atrasos e características que afetam a qualidade e a velocidade de transmissão do sinal.

O ruído e o processamento de sinal apropriado são elementos essenciais para garantir a qualidade da comunicação em sistemas de comunicação. Os sistemas de comunicação são projetados para minimizar os efeitos do ruído e garantir uma comunicação confiável. Enquanto o processamento de sinal é responsável por realizar a melhoria da qualidade de sinal e confiabilidade da transmissão de informações.

3 | MEIOS DE COMUNICAÇÃO

Todo sistema de comunicação realiza a sua transmissão de informações através de algum meio. Basicamente, existem dois tipos de meios de comunicação, os guiados e os não guiados. Os meios guiados de comunicação são meios físicos que fornecem um caminho definido para a transmissão de sinais. Eles são utilizados para transmitir informações em redes de comunicação e são chamados de “guiados” porque os sinais são conduzidos ao longo de um meio específico, como cabos metálicos ou fibras ópticas.

Os meios guiados oferecem vantagens como maior segurança, menor interferência e maior velocidade de transmissão em comparação com os meios não guiados, como o espaço livre. Alguns exemplos de meios guiados incluem cabos de cobre, cabos coaxiais e fibras ópticas.

- **Par Trançado:** A tecnologia de par trançado é um meio de comunicação muito utilizado em redes de comunicação. Sua flexibilidade, facilidade de instalação e custo-benefício tornaram-na uma escolha popular em diversos contextos, oferecendo velocidades de transmissão adequadas para várias aplicações. Embora o par trançado tenha sido inicialmente utilizado para comunicação de voz, o avanço tecnológico permitiu sua utilização em redes de dados de alta velocidade. Essa tecnologia consiste em dois fios de cobre entrelaçados, formando um par. Entrelaçar os fios faz com que as ondas se cancelem, o que ajuda a reduzir a interferência eletromagnética (TANENBAUM; WETHERALL, 2011). Com o uso de técnicas de cancelamento de ruídos e melhorias na qualidade dos materiais, o par trançado evoluiu para atender às demandas crescentes por velocidades de transmissão mais altas. Os cabos de par trançado são classificados em diferentes categorias, como Cat. 5e, Cat6 e Cat6a, cada uma com características de desempenho específicas. Essas categorias determinam a largura de banda, a taxa de transferência de dados e a distância máxima de transmissão que o cabo pode suportar.
- **Coaxial:** A comunicação através de cabo coaxial é uma tecnologia amplamente utilizada para transmitir sinais em diversas aplicações. Ele é comumente usado em sistemas de televisão a cabo e de acesso à internet. De acordo com Tanenbaum e Wetherall (2011, p. 60), “dois tipos de cabo são amplamente utilizados. Um deles, o cabo de 50 ohms, é comumente empregado nas trans-

missões digitais. O outro tipo, o cabo de 75 ohms, é usado com frequência nas transmissões analógicas e de televisão a cabo”. O cabo coaxial consiste em um condutor interno, isolado por um dielétrico e envolvido por condutor externo, protegido por uma capa isolante. Sendo assim, tem como uma de suas principais características a capacidade de transmitir sinais de alta frequência com baixa perda de sinal.

- **Fibra Óptica:** É possível afirmar que atualmente a fibra óptica é a tecnologia mais promissora e avançada para transmitir informações. Essa tecnologia tem como base o princípio da reflexão interna total, onde os sinais luminosos são transmitidos através de cabos de fibra óptica, que consistem em filamentos de vidro ou plástico extremamente finos. De acordo com Tanenbaum e Wetherall (2011, p. 62), “as fibras são feitas de vidro, que, por sua vez, é produzido a partir da areia, uma matéria-prima de baixo custo e abundante”. No processo de transmissão de dados, os sinais são convertidos em pulsos de luz que percorrem a fibra óptica. Esses pulsos de luz são refletidos internamente pelas paredes da fibra, permitindo que a informação seja transmitida ao longo do cabo sem perdas significativas de sinal. Esse meio de comunicação oferece vantagens em relação a outros meios de transmissão, como cabos de cobre. Em primeiro lugar, as fibras ópticas possuem uma largura de banda muito maior, o que significa que podem transmitir grandes quantidades de dados em alta velocidade. Além disso, a fibra óptica é imune a interferências eletromagnéticas, proporcionando uma transmissão mais estável e confiável. Devido a sua capacidade de transmissão de dados e baixa perda de sinal, a fibra óptica vem sendo usada em cabos submarinos que conectam continentes. Sua importância é notável em diversas áreas, como telecomunicações, internet, redes de dados, medicina e muitas outras. Os principais tipos de fibra óptica são multimodo e monomodo. A fibra multimodo possui um diâmetro maior do núcleo, o centro por onde a luz viaja, permitindo que múltiplos modo de luz se propaguem. O diâmetro do núcleo pode ser de $50\ \mu\text{m}$ ou $62,5\ \mu\text{m}$. Ela é usada para distâncias mais curtas, geralmente dentro de prédios ou redes locais. A fibra multimodo é mais econômica e é adequada para aplicações com menor largura de banda. A fibra monomodo possui um núcleo menor, de $9\ \mu\text{m}$, permitindo que apenas um modo de luz se propague. Ela é usada em longas distâncias, como em redes de longa distância. A fibra monomodo oferece maior largura de banda e menor atenuação de sinal em comparação com a fibra multimodo.

4 | REDES DE ACESSO POR FIBRA ÓPTICA

As redes de acesso desempenham papel fundamental na conectividade residencial e de negócios, permitindo o acesso à internet, comunicação e interconexão de dispositivos em uma escala global. Conforme Pinheiro (2017), “com o crescimento das aplicações voltadas para a internet, a presença da fibra óptica no interior de empresas, escritórios e residências se tornou realidade, com tecnologias em que ela é o principal meio usado

para atender ao anseio dos usuários de Internet em alta velocidade”. Essas redes são responsáveis por fornecer o link de conexão entre os usuários finais e as redes de longa distância, possibilitando a transmissão de dados, voz, vídeo e outros serviços.

No contexto residencial, as redes de acesso óptica viabilizam o acesso à internet de alta velocidade, permitindo a comunicação instantânea, o compartilhamento de informações, o entretenimento digital e a utilização de serviços online. Sendo então essenciais para a integração de dispositivos inteligentes em residências, possibilitando a criação de ambientes conectados, como casas inteligentes, com sistemas de segurança, controle de iluminação, automação residencial e muito mais.

5 | ARQUITETURAS DE REDE FTTX

As arquiteturas de redes de acesso por fibra óptica são classificadas conforme seu alcance. O termo FTTx é utilizado para especificar o alcance de redes ópticas de acesso. De acordo com o FTTTH *Council Europe* (2018), é possível obter variações de arquitetura de rede dependendo do número de fibras, pontos de divisão e pontos de agregação.

Os principais tipos de arquitetura FTTx são:

- FTTH (Fiber to the Home): Nessa arquitetura, a fibra óptica é estendida diretamente até a residência do assinante. Isso permite uma conexão de alta velocidade e capacidade, oferecendo uma ampla gama de serviços, como internet de alta velocidade, TV digital e telefonia.
- FTTB (Fiber to the Building): Nessa arquitetura, a fibra óptica é estendida até um ponto central dentro de um edifício. A partir desse ponto, a conectividade é distribuída internamente por meio de cabos de cobre ou redes locais sem fio.
- FTTC (Fiber to the Curb): Nessa arquitetura, a fibra óptica é estendida até o meio-fio mais próximo das residências. A partir desse ponto, a conexão é transmitida para as residências por meio de cabos de cobre existentes, como o par trançado.
- FTTDp (Fiber to the Distribution Point): Nessa arquitetura, a fibra óptica é estendida a partir do POP até o ponto de distribuição, que a partir daí a comunicação é feita até as residências através de uma infraestrutura de cabo coaxial.

6 | TOPOLOGIAS DE REDE FTTX

As redes FTTx possuem basicamente dois tipos principais de topologia de rede, a ponto-a-ponto e a ponto-multiponto. Cada uma destas topologias possui suas respectivas vantagens e desvantagens de implantação e operação.

- Ponto-a-ponto: Nesta arquitetura, cada assinante possui uma conexão dedicada a um ponto central, geralmente através de fibras ópticas individuais. Isso

significa que cada assinante tem uma conexão exclusiva e não compartilha com outros usuários. Esta arquitetura é caracterizada por uma alta taxa de transmissão de dados e baixa latência. No entanto, requer um investimento maior em infraestrutura devido à necessidade de fibras ópticas dedicadas para cada assinante. Dentre as principais vantagens desta topologia está a facilidade para ampliação da largura de banda por usuário e crescimento escalonado de equipamentos e componentes passivos. E como desvantagem, há o alto investimento inicial, a alta ocupação de infraestrutura aérea ou subterrânea e o gerenciamento de fibras a partir da central.

- Ponto-multiponto: Na arquitetura ponto-multiponto, várias assinaturas são compartilhadas em um único canal de fibra óptica, reduzindo a quantidade de fibra necessária em comparação com a arquitetura ponto a ponto. Este tipo de arquitetura normalmente faz uso da tecnologia PON (*Passive Optical Network*) que faz uso de divisores ópticos passivos para realizar o compartilhamento de sinal óptico entre diversos assinantes. Para que a comunicação em uma mesma fibra ocorra entre vários assinantes, os dados são transmitidos em intervalos de tempo separados para cada assinante. Existem diferentes tipos de arquiteturas PON, como as Redes Ópticas Passivas Gigabit (*Gigabit Passive Optical Network - GPON*) e Redes Ópticas Passivas Ethernet (*Ethernet Passive Optical Network - EPON*), que oferecem diferentes capacidades e velocidades de transmissão. Algumas das principais vantagens desta topologia é o menor custo inicial de implantação e a rede óptica mínima e otimizada. Por outro lado, apresenta maior dificuldade para localização de falhas na rede.

7 | REDES ÓPTICAS PASSIVAS

As redes ópticas passivas (PON) são sistemas de comunicação baseados em fibras ópticas que viabilizam a transmissão eficiente e confiável de dados, voz e vídeo. Nessas redes, o sinal óptico é transmitido através de fibras até um ponto central de distribuição, onde é dividido e compartilhado com os usuários finais.

Uma rede óptica passiva consiste em três principais elementos: o ponto de presença (POP – *Point of Presence*), o ponto de distribuição e as unidades de terminação de rede (ONT – *Optical Network Terminal*) localizadas nos pontos dos assinantes. O POP é responsável por fornecer um sinal óptico de alta velocidade, que é transmitido até o ponto de distribuição. No ponto de distribuição, o sinal é dividido para múltiplos usuários finais usando divisores ópticos passivos. Cada usuário final é conectado à ONU, que converte o sinal óptico em sinais elétricos utilizáveis pelos dispositivos do assinante.

A alta capacidade de transmissão de dados, com possibilidade de grande velocidade de banda larga e suporte a serviços como streaming de vídeo em alta definição, videoconferência e aplicações de Internet das Coisas (IoT), a alta imunidade a interferências eletromagnéticas, o que reduz a degradação do sinal e melhora a qualidade da transmissão, são todas características que demonstram a vantagem das redes ópticas passivas.

8 I CÁLCULO DE PERDAS E POTÊNCIA

Para elaborar o projeto da rede óptica é necessário avaliar a potência de recepção que chegará em cada elemento da rede e realizar o cálculo do orçamento de potência para validar que a OLT e as ONUs serão capazes de se comunicar e que a rede será capaz de suportar expansões. Toda OLT e ONU possuem uma potência de transmissão e um nível de sensibilidade de recepção. Portanto, contanto que o sinal transmitido pela OLT chegue na ONU acima de seu limiar de recepção, e o sinal transmitido pela ONU chegue a OLT acima de seu limiar de recepção, todos os elementos serão capazes de se comunicar.

Devido à variedade de divisores ópticos disponíveis no mercado, de topologias, arquiteturas e de classes de SFP, é fundamental calcular durante a elaboração do projeto o orçamento de potência. É através do orçamento de potência que será possível determinar, antes da rede ser construída, qual potência deve chegar em cada CTO e qual a margem ficará disponível para o caso de futuras expansões na rede após a sua construção.

Para determinar a potência de recepção, é necessário calcular a perda total desde a OLT até a CTO, levando em consideração as perdas por conectores, emendas, e a distância total da OLT à CTO, e vice-versa. Sendo que diferentes tipos de conectores apresentam diferentes perdas, assim como emendas e comprimento de onda. Desta forma, para determinar a potência de recepção em uma rede óptica passiva usa-se a Fórmula (1), esta fórmula se aplica tanto para determinar a potência de recepção no sentido OLT ONU, quanto no sentido ONU OLT:

$$P_{rx} = P_{tx} - L_c - L_e - L_d - L_s \quad (1)$$

Onde:

P_{rx} = Potência de recepção;

P_{tx} = Potência de transmissão;

L_c = Perda por conectores;

L_e = Perda por emendas;

L_d = Perda por fibra;

L_s = Perda por splitter;

Para calcular o orçamento de potência, usa-se a Fórmula (2):

$$O_p = P_{tx} - S_r \quad (2)$$

Onde:

O_p = Orçamento de potência;

P_{tx} = Potência de transmissão;

S_r = Sensibilidade de recepção;

9 | TOPOLOGIA E ARQUITETURA PROPOSTA

A área de cobertura deste projeto ficou delimitada à região urbana do município de Bom Lugar. Dentro da área urbana, foi estimado que haja aproximadamente 1232 residências. A partir disso, foi usado como parâmetro uma taxa de penetração de 50%, fazendo com que a rede tenha a capacidade de atender até 616 residências após a sua construção. Para atender Bom Lugar com uma taxa de penetração de 50%, foi realizada a delimitação de 77 células de atendimento que posteriormente foram usadas para definir os locais de instalação de CTOs.

A rede projetada é balanceada e terá divisão primária e secundária de 1/8, totalizando 64 divisões, ou seja, a capacidade de atender 64 assinantes por porta PON. Como a tecnologia escolhida para este projeto de rede é GPON, cada porta PON poderá ser expandida para atender até 128 assinantes. Para fazer isso, basta realizar a troca do divisor secundário de 1/8 por um divisor 1/16. Conforme apresentado posteriormente na atenuação do enlace óptico, essa divisão de 1/16 não irá impactar o desempenho da rede mas terá impacto no cálculo da largura de banda.

Visando tornar mais simples o processo de construção de rede, expansões futuras e o entendimento do projeto, cada Caixa de Emenda Óptica terá dois divisores ópticos primários de 1/8. Portanto, em cada CEO será necessário realizar 18 emendas, e para cada 8 CTOs sairá um cabo óptico de 12 fibras. Em caso de expansões futuras, a CEO será capaz de suportar o acréscimo de derivações de cabos e de emendas, e o cabo óptico lançado para cada rota terá 4 fibras disponíveis.

Após definir os locais de instalação das CTOs, as rotas do cabeamento óptico e de suas respectivas Caixas de Emenda responsáveis por sua distribuição de sinal foram elaboradas.

10 | RESULTADOS

Foi verificado através do mapa que com um raio de 10Km é possível cobrir todo o município de Bom Lugar, desde a área urbana localizada no centro, até os povoados mais distantes. Logo, uma única OLT localizada em um POP na área urbana teria o alcance necessário para atender todo o município. Considerando expansões futuras, e a estimativa de que Bom Lugar tenha o total de 1400 residências, são necessárias em torno de 175 CTOs para atender todas as residências de Bom Lugar. E para instalar 175 CTOs, são necessários 22 PONs no total. Desta forma, um cabo de 36FO instalado no POP tem fibras suficientes para transportar o sinal de qualquer expansão futura de rede. No entanto, as placas PONs disponíveis no mercado costumam ser vendidas com 8 ou 16 portas, o que significa que sobrarão portas PONs e fibras que poderão ficar como reserva.

A figura 1 demonstra a distribuição das 77 CTOs conforme células de atendimento definidas.

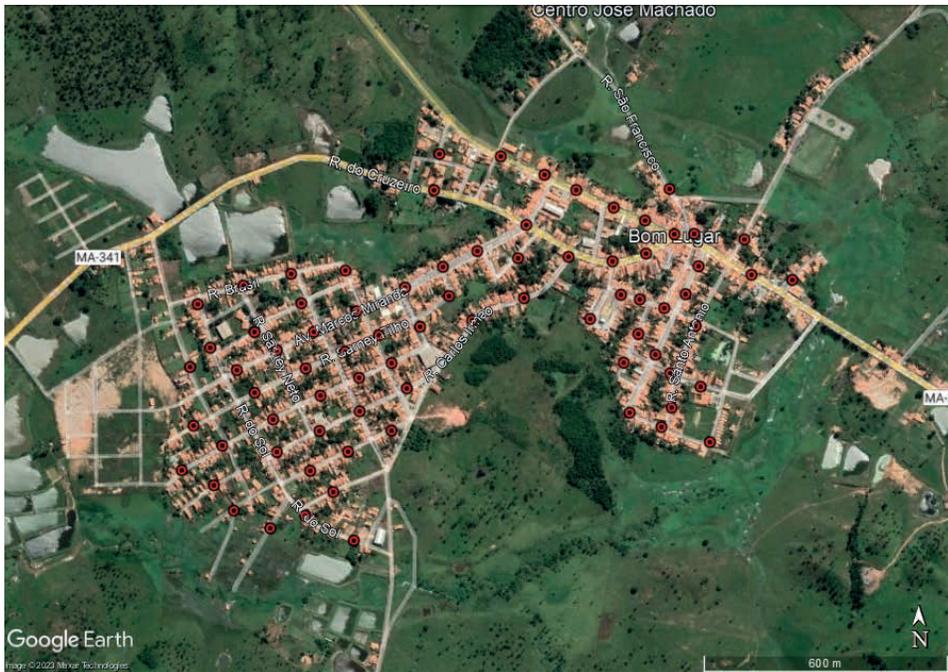


Figura 1. Caixas de Terminação Óptica distribuídas (Autor et al., 2023).

É possível identificar na Figura 2 o local que será instalado as Caixas de Emenda e rotas do cabeamento óptico que atenderá cada CTO na rede. Os quadrados em rosa são as Caixas de Emenda, e as linhas em verde representam as rotas do cabeamento óptico secundário.

A Figura 4 demonstra a rota do cabeamento óptico de alimentação responsável por atender cada Caixa de Emenda Óptica. As Caixas de Emenda Óptica estão representadas pelos quadrados em rosa, e a rota do cabeamento primária pelas linhas em amarelo. O ponto de partida de distribuição de sinal é a CEO 01.



Figura 4. Rota do cabeamento primário (Autor et al., 2023).

Os cabos ópticos escolhidos para a rede de alimentação foram dimensionados considerando as fibras necessárias para alimentação de equipamentos de rede no POP, as fibras necessárias para atendimento da área urbana de Bom Lugar e futuras expansões de rede. O cabo óptico projetado para interligar o POP a CEO 01 é de 36 FO, enquanto os cabos ópticos que interligam da CEO 01 às CEOs 02 e 03, e da CEO 01 às CEOs 04 e 05, são de 24 FO.

A rede de fibra óptica deste projeto tem como proposta usar a tecnologia GPON para realizar o compartilhamento da largura de banda. O GPON é um método eficiente de compartilhamento de largura de banda em redes de fibra óptica. Ela permite o compartilhamento de uma única fibra entre vários usuários, proporcionando altas velocidades de transmissão de dados.

O cálculo da largura de banda compartilhada leva em consideração a capacidade total do canal óptico e a alocação de tempo para cada usuário. Na tecnologia, a largura de banda compartilhada de downstream é de 2500 Mbps, enquanto a largura de banda de upstream é de 1250 Mbps. Desta forma, a Figura 5 apresenta a largura de banda dedicada

para cada usuário das PONs distribuídas neste projeto.

PON	ONU's	Uplink Bandwidth (Mbps)	Downlink Bandwidth (Mbps)
1	64	19,53	39,06
2	64	19,53	39,06
3	64	19,53	39,06
4	64	19,53	39,06
5	64	19,53	39,06
6	64	19,53	39,06
7	64	19,53	39,06
8	40	31,25	62,5
9	64	19,53	39,06
10	64	19,53	39,06

Figura 5. Largura de banda dedicada por ONU conectada à porta PON (Autor et al., 2023).

É possível concluir que todos os assinantes da rede terão no mínimo 19,53 Mbps de banda dedicada para *upstream* e 39,06 Mbps de banda dedicada para *downstream*.

Por se tratar de um projeto de rede óptica passiva cuja arquitetura é balanceada, a potência de recepção estimada de cada CTO terá aproximadamente o mesmo resultado. Tanto fabricantes de cabos ópticos, quanto de divisores ópticos e conectores precisam garantir que a perda máxima seja conforme o estabelecido por norma. Os datasheets desses elementos trazem consigo os resultados de testes e a perda que esses elementos apresentaram. No caso da topologia de rede proposta para esse trabalho, ela consiste de divisores ópticos balanceados 1/8 tanto em 1º nível quanto em 2º nível, e a perda máxima para esse tipo de divisor é de 10,5 dB em todas as suas saídas.

CEO	PON	Potência de Transmissão (dBm)	Perda por Conector (dB)	Perda por Emenda (dB)	Perda Divisor Primário (dB)	Perda Distância OLT/CEO (dB/Km)	Potência de Recepção na CEO (dBm)	Perda Distância CEO/CTO (dB)	Perda Divisor Secundário (dB)	Potência de Recepção na CTO (dBm)
1	1	4	1,5	0,3	10,5	0,04	-8,34	0,47	10,5	-19,31
	2	4	1,5	0,3	10,5	0,04	-8,34	0,47	10,5	-19,31
2	3	4	1,5	0,3	10,5	0,23	-8,53	0,28	10,5	-19,31
	4	4	1,5	0,3	10,5	0,23	-8,53	0,28	10,5	-19,31
3	5	4	1,5	0,3	10,5	0,29	-8,59	0,37	10,5	-19,46
	6	4	1,5	0,3	10,5	0,29	-8,59	0,37	10,5	-19,46
4	7	4	1,5	0,3	10,5	0,34	-8,64	0,20	10,5	-19,34
	8	4	1,5	0,3	10,5	0,34	-8,64	0,20	10,5	-19,34
5	9	4	1,5	0,3	10,5	0,51	-8,81	0,21	10,5	-19,53
	10	4	1,5	0,3	10,5	0,51	-8,81	0,21	10,5	-19,53

Figura 6. Cálculo de perda e de potência de recepção por PON (Autor et al., 2023).

11 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho é proposto o projeto de uma rede óptica de acesso GPON cuja topologia é ponto-multiponto distribuída e a arquitetura é FTTH (*Fiber to The Home*) balanceada com divisão de 1:64 por porta PON que poderá vir a ser usada para acesso à internet. O projeto foi desenvolvido a partir da ferramenta Google Earth, que permitiu elaborar a melhor estratégia de rotas de cabeamento e distribuição dos elementos passivos de rede para o município de Bom Lugar/MA. Para que fosse atendida a total demanda por internet da região urbana de Bom Lugar/MA foi necessário dimensionar a área de cobertura e fazer o levantamento da quantidade de residências a partir do escopo estabelecido. Com as 77 caixas de terminação ópticas de divisão 1:8 propostas no projeto, a rede terá a capacidade de atender a região urbana com uma taxa de penetração de 50%. A partir do trabalho foi possível observar que este projeto seria tecnicamente e economicamente viável de atender a atual demanda por internet e futuras expansões consequentes do surgimento de novas tecnologias e do aumento na demanda por velocidade de internet em Bom Lugar/MA. Em trabalhos futuros é possível elaborar um projeto de implantação de rede 5G usando a infraestrutura deste projeto, ou projeto de expansão da rede para atendimento de residências da área rural.

REFERÊNCIAS

ANATEL – AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. Acessos Banda Larga Fixa. Disponível em: <<https://informacoes.anatel.gov.br/paineis/acessos/banda-larga-fixa>>. Acesso em: 02 jun. 2023.

COMMSCOPE. **Fiber to the X Fundamentals**. Commscope, 2018. Disponível em: <<https://www.commscope.com/resources/eBooks/FTTX-Fundamentals-eBook/>>. Acesso em: 24 mai. 2022.

FTTH Council Europe. **FTTH Handbook**. 8° Ed. Ftthcouncil, 2018. Disponível em: <<https://www.ftthcouncil.eu/knowledge-centre/all-publications-and-assets/215/ftth-handbook>>. Acesso em: 27/05/2021.

HAYKIN, Simon; MOHER, Michael. **Introdução aos sistemas de comunicação**. 2. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

JIANG, Wei; QIAN, Qiulin; YONG, Wangwen; KUMAR, Rajesh; WU, Junrui; ZHANG, Hanwen. Application of no-light fault prediction of PON based on deep learning method. **Computer Communications**, vol. 208, 210-219, aug. 2023.

LI, Xingfeng; GAN, Chaoqin; CHEN, Yujie; QIAO, Hubao; YAN, Yuqi. Dual-Fiber-Ring Architecture Supporting Discretionary Peer-to-Peer Intra-Communication and Bidirectional Inter-communication in Metro-Access Network. **IEEE Access**, vol. 7, 52360-52370, abr. 2019.

PAKPAHAN, Andrew Fernando; HWANG, I-Shyan. Flexible Access Network Multi-Tenancy Using NFV/SDN in TWDM-PON. **IEEE Access**, vol. 11, 42937-42948, abr. 2023.

PINHEIRO, José Maurício dos Santos. **Redes ópticas de acesso em telecomunicações**. 1. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

TANENBAUM, Andrew S.; WETHERALL, David. **Redes de computadores**. 5. Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

TYAGI, Tushar; GIDDINGS, Roger; TANG, J.M. Real-time experimental demonstration of a computationally efficient hybrid OFDM DFMA PON. **Optical Fiber Technology**, vol. 74, dez. 2022.