

Universidade Federal de Goiás (UFG)
Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação
(EMC)

Ana Júlia Batista Vilarinho
Pedro Henrique Oliveira Fernandes

Projeto de Rede Usando Fibra Ótica: FTTH Residencial

Goiânia
2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA ELÉTRICA, MECÂNICA E DE COMPUTAÇÃO

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio do Repositório Institucional (RI/UFG), regulamentado pela Resolução CEPEC no 1240/2014, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei no 9.610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo dos Trabalhos de Conclusão dos Cursos de Graduação disponibilizado no RI/UFG é de responsabilidade exclusiva dos autores. Ao encaminhar(em) o produto final, o(s) autor(a)(es)(as) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação (TCCG)

Nome(s) completo(s) do(a)(s) autor(a)(es)(as): Ana Julia Batista Vilarinho e Pedro Henrique Oliveira Fernandes

Título do trabalho: Projeto de Rede usando Fibra Ótica: FTTH Residencial

2. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador) Concorda com a liberação total do documento [X] SIM [] NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante: a) consulta ao(à)(s) autor(a)(es)(as) e ao(à) orientador(a); b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo do TCCG. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro.

Obs.: Este termo deve ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Ana Julia Batista Vilarinho, Discente**, em 16/07/2024, às 11:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Pedro Henrique Oliveira Fernandes, Discente**, em 02/08/2024, às 15:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marcelo Stehling De Castro, Professor do Magistério Superior**, em 03/08/2024, às 21:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4674243** e o código CRC **707471C0**.

Referência: Processo nº 23070.016829/2024-81

SEI nº 4674243

Ana Júlia Batista Vilarinho
Pedro Henrique Oliveira Fernandes

Projeto de Rede usando Fibra Ótica: FTTH Residencial

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica, da Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação (EMC), da Universidade Federal de Goiás (UFG), como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.
Orientador (a): Marcelo Stehling de Castro

Goiânia
2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Vilarinho, Ana Júlia Batista
PROJETO DE REDE VIA FIBRA ÓTICA: FTTH RESIDENCIAL
[manuscrito] / Ana Júlia Batista Vilarinho, Pedro Henrique Oliveira
Fernandes. - 2024.
XXIV, 24 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Stehling de Castro.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade
Federal de Goiás, Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de
Computação (EMC), Engenharia Elétrica, Goiânia, 2024.
Bibliografia.

1. FTTH. 2. GPON. 3. redes de comunicação. 4. fibras óticas. 5.
conectividade de alta velocidade. I. Fernandes, Pedro Henrique
Oliveira. II. Castro, Marcelo Stehling de, orient. III. Título.

CDU 621.3



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA ELÉTRICA, MECÂNICA E DE COMPUTAÇÃO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Ao(s) **19** dia(s) do mês de **julho** do ano de **2024** iniciou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “**Projeto de Rede usando Fibra Ótica: FTTH Residencial**”, de autoria de **Ana Julia Batista Vilarinho e Pedro Henrique Oliveira Fernandes**, do curso de **Engenharia Elétrica**, da **Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação (EMC)** da UFG. Os trabalhos foram instalados pelo Prof. Dr. **Marcelo Stehling de Castro – EMC/UFG** com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Profa. Dra. **Ana Cláudia Marques do Valle – EMC/UFG** e Prof. Dr. **Flávio Geraldo Coelho Rocha – EMC/UFG**. Após a apresentação, a banca examinadora realizou a arguição do(a) estudante. Posteriormente, de forma reservada, a Banca Examinadora atribuiu a nota final de **9,5**, tendo sido o TCC considerado **APROVADO**.

Proclamados os resultados, os trabalhos foram encerrados e, para constar, lavrou-se a presente ata que segue assinada pelos Membros da Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Marcelo Stehling De Castro, Professor do Magistério Superior**, em 19/07/2024, às 09:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Flavio Geraldo Coelho Rocha, Professor do Magistério Superior**, em 19/07/2024, às 09:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ana Claudia Marques Do Valle, Professor do Magistério Superior**, em 19/07/2024, às 09:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ana Julia Batista Vilarinho, Discente**, em 19/07/2024, às 12:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Pedro Henrique Oliveira Fernandes, Discente**, em 02/08/2024, às 15:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4674222** e o código CRC **D64872A5**.

PROJETO DE REDE USANDO FIBRA ÓTICA: FTTH RESIDENCIAL

Ana Júlia Batista Vilarinho¹, Pedro Henrique Oliveira Fernandes², Marcelo Stehling de Castro³

Universidade Federal de Goiás (UFG) - Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação (EMC)
Goiânia, Goiás, Brasil, e-mails: ¹anavilarinho@discente.ufg.br, ²oliveira_pedro@discente.ufg.br, ³mcastro@ufg.br

Resumo—Este artigo aborda projetos de redes Fiber to the Home (FTTH) com foco na tecnologia Gigabit Passive Optical Network (GPON), explorando aspectos técnicos como arquitetura, componentes e protocolos. Integra diversos conhecimentos estudados no curso de Engenharia, aplicando-os na prática. A tecnologia FTTH destaca-se como uma evolução paradigmática nas redes de comunicação contemporâneas, transmitindo dados diretamente às residências por meio de fibras ópticas. Sua relevância reside na capacidade de proporcionar conectividade de alta velocidade, confiável e simétrica, desempenhando um papel crucial como catalisador para a transformação digital. A operação da FTTH envolve a transmissão de sinais ópticos convertidos a partir de sinais elétricos, utilizando uma arquitetura ponto a ponto que se inicia em centrais ópticas, garantindo uma eficiente distribuição de largura de banda até as residências. Essa transmissão culmina na conversão inversa dos sinais ópticos em sinais elétricos no ponto de destino. Além de proporcionar acesso à Internet, a FTTH viabiliza diversas aplicações, como televisão por assinatura, telefonia e tecnologias emergentes, incluindo realidade virtual e aumentada. A robustez e a ampla capacidade de largura de banda da FTTH consolidam-na como uma infraestrutura habilitadora para serviços digitais avançados, promovendo experiências digitais enriquecedoras que impactam positivamente a vida cotidiana dos usuários. Em resumo, a FTTH emerge como uma tecnologia integral para a expansão da conectividade digital, fundamentando-se em sua importância estratégica, funcionamento sofisticado e diversidade de aplicações que transcendem os limites convencionais da comunicação digital.

Palavras-chave—FTTH, GPON, redes de comunicação, fibras ópticas, conectividade de alta velocidade, compartilhamento de infraestrutura, normas regulatórias.

Abstract—This article discusses Fiber to the Home (FTTH) network projects with a focus on Gigabit Passive Optical Network (GPON) technology, exploring technical aspects such as architecture, components, and protocols. It integrates various knowledge studied in the Engineering course, applying them in practice. FTTH technology stands out as a paradigmatic evolution in contemporary

communication networks, transmitting data directly to residences via optical fibers. Its relevance lies in its ability to provide high-speed, reliable, and symmetrical connectivity, playing a crucial role as a catalyst for digital transformation. The operation of FTTH involves the transmission of optical signals converted from electrical signals, using a point-to-point architecture that starts at optical centers, ensuring efficient bandwidth distribution to residences. This transmission culminates in the inverse conversion of optical signals back to electrical signals at the destination point. In addition to providing Internet access, FTTH enables various applications such as subscription television, telephony, and emerging technologies, including virtual and augmented reality. The robustness and wide bandwidth capacity of FTTH consolidate it as an enabling infrastructure for advanced digital services, promoting enriching digital experiences that positively impact users' daily lives. In summary, FTTH emerges as an integral technology for expanding digital connectivity, based on its strategic importance, sophisticated operation, and diversity of applications that transcend conventional limits of digital communication.

Index Terms—FTTH, GPON, communication networks, optical fibers, high-speed connectivity, infrastructure sharing, regulatory standards.

I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a demanda por conectividade de alta velocidade e confiável tem impulsionado o desenvolvimento de tecnologias inovadoras no campo das redes de comunicação. Entre essas tecnologias, os projetos de redes (FTTH), concentrados na utilização da tecnologia *Gigabit Passive Optical Network (GPON)*, têm se destacado como uma evolução padrão [19, 28]. Esses projetos revolucionam não só a transmissão de dados diretamente às residências, mas também influenciam significativamente nossa experiência e interação com o mundo digital.

A capacidade de oferecer taxas de transmissão mais elevadas e uma qualidade de sinal superior tornam as redes **FTTH** a escolha ideal para atender às necessidades dos usuários contemporâneos [6, 16, 31]. Além disso, a redução dos custos associados às redes Óticas tornou viável a adoção em larga escala dessa tecnologia [12].

É importante destacar que o setor de telecomunicações também é regulado por normas que visam a facilitar o acesso e o compartilhamento de infraestruturas entre os provedores de serviços.

No Brasil, a legislação estabelece diretrizes para o compartilhamento de infraestruturas físicas, como postes e dutos, por meio da **Lei Geral de Antenas (Lei nº 13.116/2015)** [11] e da **Resolução nº 700/2018 da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL)** [3].

No estado de Goiás, a norma **NT.016.EQTL.Normas e Padrões**, estabelecida pela Equatorial Energia, regula o compartilhamento de infraestrutura entre os provedores de serviços de telecomunicações e a concessionária de energia elétrica [13]. Essa norma define diretrizes para garantir a compatibilidade, segurança e eficiência das instalações compartilhadas, promovendo um ambiente propício para o desenvolvimento das redes de comunicação, incluindo projetos **FTTH-GPON**.

Segundo dados da ANATEL e do estudo divulgado pelo **Centro Regional de Estudos para o Desenvolvimento da Sociedade da Informação (Cetic.br)**, o percentual de residências conectadas à internet no Brasil registrou um aumento significativo entre 2022 e 2023. Conforme os dados da pesquisa **TIC Domicílios 2023**, o percentual passou de 80 para 84, marcando uma elevação considerável após anos de estabilidade [12].

Neste contexto, o presente projeto de rede via fibra Ótica – **FTTH** residencial – tem como objetivo principal planejar a implantação de uma rede **FTTH** para atender a uma área composta por condomínios residenciais horizontais. Por meio de um levantamento de campo, foram identificadas as necessidades e características específicas da área de atendimento, permitindo assim a formulação de uma configuração capaz de potencialmente atender dezenas de residências.

A. Objetivo Geral

Criar um projeto de uma rede **FTTH** com foco na tecnologia **GPON**, abordando aspectos técnicos, tais como, arquitetura, componentes e protocolos, integrando conhecimentos de disciplinas essenciais ao curso de Engenharia Elétrica. O projeto seguirá as normas e recomendações da **ANATEL** e as diretrizes do Grupo **Equatorial Energia** para compartilhamento de infraestrutura.

B. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos delineados neste projeto compreendem:

- Realizar uma análise dos dados, abrangendo informações provenientes de censos demográficos e da estrutura de compartilhamento existente. Esse processo tem como objetivo efetuar um levantamento orçamentário relativo à proposta de construção e estabelecer a área de atendimento.
- Desenvolver o projeto executivo para a implementação da tecnologia **FTTH** abrangendo os elementos necessários para a sua execução eficaz.
- Efetuar um levantamento da lista de materiais essenciais à realização da obra, detalhando os insumos necessários para a implementação bem-sucedida do projeto.
- Conduzir um projeto de fusão, realizando simultaneamente análises detalhadas de potência na rede. Este processo visa a otimizar a eficiência da fusão de fibras Óticas, garantindo uma transmissão de dados robusta e confiável.

II. CONCEITOS

Nesta seção, serão apresentados os seguintes conceitos:

- Tecnologia da Fibra Ótica: Fundamentos e Aplicações
- Arquitetura **FTTH**: Avanços e Benefícios na Prestação de Serviços de Telecomunicações
- Redes **PON**: Eficiência e Economia na Implementação de Serviços de Banda Larga
- Padrão **GPON**: Eficiência e Versatilidade na Implementação de Redes PON de Próxima Geração
- **OLT** e **ONU**: Funções e Papéis na Rede **GPON**

- Elementos Passivos em Redes **FTTH**: Garantindo Conexões Estáveis e Confiáveis
- Equipamentos usados na implementação da rede
- Regulação e Compartilhamentos de Infraestruturas

A. Tecnologia de Fibra Ótica: Fundamentos e Aplicações

A introdução da fibra ótica foi um avanço que revolucionou a indústria de telecomunicações, fornecendo um meio de transmissão de dados – que pode ser utilizado em longas distâncias e com grande capacidade de largura de banda.

Uma fibra Ótica é um filamento muito fino e flexível feito de vidro ou plástico [7].

A fibra ótica é transparente, permitindo a transmissão de sinais de luz através dela com mínima perda de qualidade.. Os dados são transferidos através de uma fibra Ótica através de reflexão interna total. Isto ocorre quando os sinais de luz são refletidos continuamente ao longo do núcleo da fibra [33].

Assim, as informações são enviadas por grandes distâncias sem perder muita intensidade do sinal – o que é possível graças a essa qualidade intrínseca da fibra.

A Ótica é vital na operação de redes de alto desempenho, como (**FTTH**) e *Passive Optical* (PON).

A fibra ótica, composta por um núcleo de vidro ou plástico extremamente puro, utiliza a refração da luz para transmitir dados, permitindo uma largura de banda significativamente maior em comparação com os cabos de cobre tradicionais [7].

Existem diferentes tipos de cabos de fibra ótica, incluindo fibras monomodo e multimodo, cada uma com suas aplicações específicas; a **fibra monomodo**, por exemplo a figura 2, é ideal para transmissões de longa distância devido à sua menor atenuação e maior capacidade de largura de banda, enquanto a **fibra multimodo** é mais adequada para distâncias mais curtas e aplicações internas devido ao seu núcleo mais largo [14].

Além da composição do núcleo, os cabos de fibra ótica são revestidos por várias camadas de proteção, incluindo a casca primária, que protege o núcleo da umidade e de outras contaminações, e a jaqueta externa, que fornece resistência física contra impactos e tensões [29].

Os cabos ópticos são a estrutura básica das redes, por meio

deles que o sinal vai se propagar da central, saindo da *Optical Line Terminal (OLT)*, até o final da rede, chegando na *ONU* [4].

- **Fibras óticas**: São o elemento central dos cabos ópticos, compostas por um núcleo central de vidro ou plástico, onde a luz viaja, cercado por um revestimento que guia a luz pelo núcleo de forma eficiente.
- **Revestimento Primário**: Possui a função de proteger a fibra ótica contra danos mecânicos, como dobras e impactos, mantendo a integridade da transmissão de luz.
- **Elementos de Reforço**: Geralmente feitos de aramida (como Kevlar®), proporcionam resistência à tração, garantindo que o cabo possa ser puxado durante a instalação sem danificar as fibras óticas internas.
- **Revestimento Externo**: Camada final que protege o cabo contra umidade, substâncias químicas e outros fatores ambientais adversos.

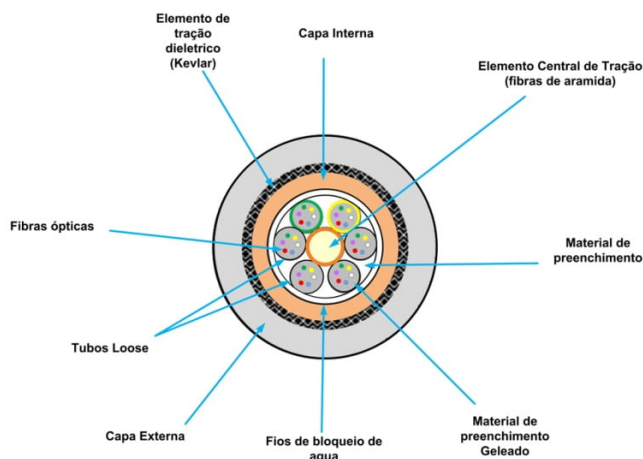


Fig. 1. Corte transversal de um cabo óptico autossustentável. Fonte: [30]

Estes cabos podem ser divididos em algumas categorias diferentes:

- **Cabos de Distribuição**: Utilizados para conexões internas em edifícios ou entre edifícios próximos.
- **Cabos de Backbone**: Projetados para interconectar diferentes partes de uma rede, geralmente de longa distância.
- **Cabos Drop**: Conectam a rede principal às residências ou pequenos escritórios, permitindo a distribuição final do serviço.

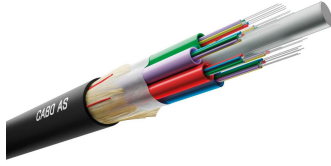


Fig. 2. Cabo óptico. Fonte: [9]

Tabela I. Especificação de Cabos Ópticos. Fonte: [5]

Sigla	Significado
CFOA	Cabo de fibra ótica de acrilato
SM ou MM	Tipo de fibra
AS	Autossustentado
80, 120, 200...	Vão máximo entre os postes
G ou S	Proteção contra umidade
'x'F	'x' é o número de fibras (12, 24, 36...)
NR ou RC	Tipo de capa

B. Arquitetura FTTH: Avanços e Benefícios na Prestação de Serviços de Telecomunicações

A evolução dos serviços de telecomunicações através de FTTH difere das tecnologias de mídia de transmissão baseadas em cobre, como *Digital Subscriber Line* (DSL) ou cabo coaxial, que levam a fibra Ótica diretamente até a casa ou escritório do usuário: garantindo assim alta largura de banda, transmissão confiável e fornecimento de boa qualidade [20].

Além disso, essa arquitetura é altamente escalável, na qual banda larga de alta velocidade pode ser oferecida juntamente com TV digital e telefonia VoIP sem qualquer impacto na qualidade ou estabilidade [14].

C. Redes PON: Eficiência e Economia na Implementação de Serviços de Banda Larga

As redes PON são uma maneira eficaz e econômica de implantar serviços de banda larga usando fibra Ótica [1]. Essas redes operam com uma arquitetura passiva, onde uma única fibra Ótica compartilhada, conhecida como fibra de distribuição, atende a inúmeros usuários.

Divisores óticos passivos, chamados de *splitters*, são usados para dividir um sinal ótico em múltiplos caminhos sem a necessidade de componentes ativos como amplificadores ou *switches*. Esses dispositivos permitem a transmissão e o

recebimento de sinais óticos em várias direções, o que resulta em uma redução significativa nos custos de infraestrutura e manutenção. Devido a essas vantagens, as redes PON frequentemente utilizam *splitters*, tornando-se uma escolha popular e eficiente para provedores de serviços de telecomunicações em todo o mundo. [2].

D. Padrão GPON: Eficiência e Versatilidade na Implementação de Redes PON de Próxima Geração

O padrão *Gigabit Passive Optical Network* (GPON) é um dos padrões mais amplamente adotados para implementação de redes PON, um diagrama desse padrão na figura 3.

Desenvolvido pelo *International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector* (ITU-T), o GPON define especificações técnicas para a transmissão de dados em redes PON com taxas de transferência de até vários **Gigabits por segundo (Gbps)** [18], essas especificações podem ser vista na tabela III.

O GPON utiliza uma abordagem de divisão de tempo para permitir a transmissão bidirecional de dados entre o equipamento central da rede e os terminais dos usuários, garantindo uma utilização eficiente da largura de banda disponível. Além disso, o GPON oferece suporte a uma ampla variedade de serviços, incluindo internet de alta velocidade, TV digital, telefonia e serviços de monitoramento e automação residencial, tornando-o uma escolha versátil para a entrega de serviços de telecomunicações de próxima geração [25].

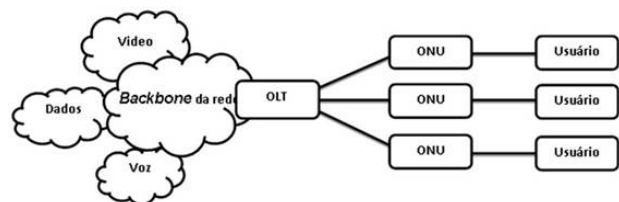


Fig. 3. Arquitetura básica de uma rede GPON .Fonte: [Adaptada] [4].

E. OLT e ONU: Funções e Papéis na Rede GPON

O *Optical Line Terminal* (OLT) é um componente essencial em uma rede GPON. Ele é responsável por controlar e gerenciar a transmissão de dados entre a rede de fibra Ótica e os terminais dos usuário, conforme mostrado na Fig. 4.

Tabela II. Especificações técnicas do padrão GPON

Especificação	Valor
Taxa de transferência <i>downstream</i>	Até 2,488 Gbps
Taxa de transferência <i>upstream</i>	Até 1,244 Gbps
Comprimento de onda <i>downstream</i>	1490 nm
Comprimento de onda <i>upstream</i>	1310 nm
Alcance máximo	20 km
Divisão de tempo	TDMA
Criptografia	AES

O **OLT** geralmente está localizado no ponto central da rede e é conectado aos *splitters* óticos que dividem o sinal óptico para múltiplos terminais, além de realizar funções de controle de acesso, provisionamento de serviços e monitoramento de desempenho na rede **GPON** [21].



Fig. 4. OLT 16 portas pon para GPON [9]

Por outro lado, a *Optical Network Unit* (ONU) é o equivalente ao **OLT** na extremidade do usuário da rede **GPON**, figura 5. Ela é responsável por converter o sinal óptico recebido da **OLT** em sinais elétricos que podem ser utilizados pelos dispositivos do usuário, como computadores, telefones e televisores, enquanto a **ONU** também executa funções de controle de acesso, autenticação de usuários e provisionamento de serviços na extremidade do usuário da rede **GPON** [10].

Geralmente, a **ONU** é instalada nas residências ou escritórios dos usuários e está conectada aos dispositivos do usuário por meio de interfaces *Ethernet*, *Wi-Fi* ou coaxiais.

F. Elementos Passivos em Redes **FTTH**: Garantindo Conexões Estáveis e Confiáveis

Os elementos passivos de uma rede **FTTH** desempenham um papel fundamental na distribuição e gerenciamento eficiente do sinal óptico, garantindo uma conexão estável e confiável para os usuários. Entre esses elementos, destacam-se a



Fig. 5. Optical Network Unit [9]

Caixa de Terminação Ótica (**CTO**)(figura 6) e a Caixa de Emenda(**CEO**) (figura 7) [29].

A **CTO** é um componente crucial em uma rede **FTTH**, localizado na extremidade do cabo de fibra Ótica que chega até a residência ou o escritório do usuário, ela serve como ponto de transição entre o cabo de fibra Ótica e os cabos de conexão internos, permitindo a distribuição do sinal óptico para os dispositivos do usuário, como modem, roteador ou set-top box.

A **CTO** também desempenha um papel importante na proteção e organização das conexões Óticas, garantindo a integridade do sinal e facilitando eventuais operações de manutenção ou reparo na rede.



Fig. 6. CTO 1x16 [9]

Outro elemento passivo essencial é a **CEO**, que é utilizada para realizar a conexão física entre os cabos de fibra Ótica. Quando a fibra Ótica precisa ser estendida ou reparada, é preciso realizar uma emenda entre os segmentos de fibra Ótica. A **CEO** proporciona um ambiente protegido e controlado para realizar esse processo, garantindo que as emendas sejam feitas com precisão e segurança.

Existem diferentes tipos de **CEO**, como as caixas de emenda de fusão e as caixas de emenda mecânica, cada

uma com suas próprias características e aplicações específicas. Além da CTO e da Caixa de Emenda, outros elementos passivos podem ser encontrados em uma rede **FTTH**, como os *splitters* óticos, os conectores óticos e os adaptadores óticos.



Fig. 7. Caixa de emenda ótica [9]

Os *splitters* óticos (Figura 8) são utilizados para dividir o sinal ótico em múltiplos caminhos, permitindo assim atender vários usuários a partir de uma única fibra ótica [1].

Os conectores óticos (Figura 9) são utilizados para realizar conexões entre os diferentes componentes da rede, enquanto os adaptadores óticos fornecem uma interface padronizada para conectar os dispositivos dos usuários à rede óptica [26].



Fig. 8. Splitter 1x8 com conectores óticos. Fonte: [9]

Em conjunto, esses elementos desempenham um papel fundamental na implantação e operação de uma rede **FTTH**, figura 10, garantindo uma conexão de alta qualidade e confiabilidade para o usuário final. O dimensionamento adequado e a seleção dos componentes são primordiais para garantir o desempenho da rede.

G. Equipamentos usados na implementação da rede

Em uma rede com cabos de fibra óptica, em vários momentos é necessária a junção de duas fibras, por exemplo, na conexão de um *splitter*. Essa conexão pode ser feita usando conectores



Fig. 9. Conector ótico. Fonte: [9]

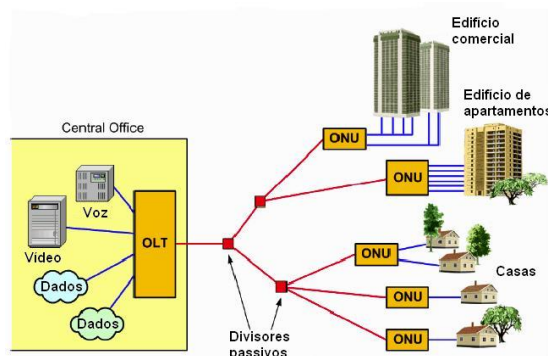


Fig. 10. Representação da arquitetura GPON com componentes [17].

ou por meio da fusão, utilizando o equipamento conhecido como Máquina de Fusão (Figura 11). Ela permite unir permanentemente duas fibras óticas, proporcionando uma conexão de alta qualidade com mínima perda de sinal [29].

A Máquina de Fusão realiza o alinhamento preciso das extremidades das fibras e as funde utilizando um arco elétrico, formando uma única fibra contínua. Após a fusão, a junção é protegida para garantir durabilidade e resistência. A fusão é a técnica preferida em muitas aplicações devido à sua confiabilidade e desempenho superior em comparação com outras formas de conexão. No entanto, é importante mencionar que a fusão implica em perda adicional, que deve ser computada no planejamento das redes.

O *power meter* (Figura 12) é um instrumento essencial na instalação e manutenção de redes de fibra óptica, utilizado para medir a potência do sinal ótico transmitido através da fibra. Este dispositivo permite aos técnicos verificar a perda de sinal ao longo de um link de fibra óptica e garantir que os níveis



Fig. 11. Máquina de fusão de fibra óptica O-TECH HOEA3500. Fonte: [9]

de potência estejam dentro das especificações adequadas para o funcionamento da rede [26].

Além disso, o *power meter* pode ser utilizado para testar a continuidade da fibra e localizar falhas, proporcionando uma ferramenta fundamental para a otimização do desempenho e da confiabilidade das redes de fibra óptica [29].



Fig. 12. Power Meter Óptico OVERTEK OT-300A. Fonte: [9]

O **OTDR** (Reflectômetro Óptico no Domínio do Tempo) (Figura 13) é um instrumento usado na análise e diagnóstico de redes de fibra óptica. O **OTDR** é usado para medir a atenuação de sinais ao longo do comprimento da fibra, bem como para localizar qualquer falha. Ele emite pulsos de luz na fibra e analisa o retorno desses pulsos, fornecendo informações detalhadas sobre a perda de sinal, emendas, conectores e outros eventos que afetam o desempenho do link óptico [9].

Isso permite aos técnicos identificar e localizar problemas com precisão, facilitando a manutenção e a resolução rápida de falhas em redes de fibra óptica.



Fig. 13. OTDR AQ1000 USC/VLS 2WL 1310/1550NM 34/32DB YOKOGAWA. Fonte: [9]

H. Regulação e Compartilhamento de Infraestruturas

A regulamentação e as diretrizes existentes são fundamentais para garantir que o segmento funcione de maneira eficiente, segura e justa para todas as partes envolvidas, é uma parte de vital importância, não apenas por proporcionar conexão e comunicação em um território vasto e diversificado, mas também por impulsionar o desenvolvimento econômico e social da região em que é colocado.

As Leis e diretrizes são essenciais para que haja uma padronização de serviços a fim de que facilite a sua expansão.

A **Lei Geral de Antenas (Lei nº 13.116/2015)** [11] é necessária pois visa a direcionar e regulamentar o uso e a compartilhamento de infraestruturas físicas, incluindo postes e dutos, no contexto das telecomunicações.

Este marco legal foi concebido com o objetivo de aprimorar o processo de licenciamento, instalação e compartilhamento, essenciais para a comunicação, de modo a impulsionar o desenvolvimento socioeconômico do Brasil.

A importância dessa legislação reside em sua capacidade de promover a eficiência no uso dos recursos de telecomunicações, facilitando a expansão dos serviços de telefonia e internet em todo o território nacional.

Ao estabelecer normas claras e padronizadas, a **Lei Geral de Antenas [11]** busca reduzir os obstáculos burocráticos e promover uma maior colaboração entre as empresas do setor de telecomunicações. Além disso, essa legislação tem um papel crucial na inclusão digital, uma vez que facilita a ampliação da cobertura de redes de telecomunicações, especialmente em áreas remotas e de difícil acesso.

Com menos barreiras legais e administrativas, as operadoras de telecomunicações podem instalar e compartilhar suas infraestruturas de maneira mais célere e eficiente, melhorando a qualidade dos serviços e tornando-os acessíveis para um público maior e remoto.

Se tratando de regulamentação e promoção do desenvolvimento de redes de fibra óptica, como as utilizadas em projetos de **FTTH**, a **Resolução nº700/2018 [3]** da Agência Nacional de Telecomunicações desempenha um papel crucial, já que, contribui para a expansão do acesso à internet estabelecendo padrões técnicos definindo os requisitos técnicos que as redes devem atender.

A **Resolução nº700/2018** regula o compartilhamento de infraestrutura, garante a concorrência definindo regras claras para a prestação de serviços de comunicação e assegura a qualidade do serviço estabelecendo obrigações para as operadoras quanto à qualidade dos serviços prestados.

Além disso, a resolução define critérios claros para a repartição dos custos de manutenção e uso das infraestruturas compartilhadas, prevenindo conflitos e litígios entre as operadoras.

A **ANATEL**, por meio desta resolução, também reforça a importância de assegurar a segurança e a integridade das infraestruturas, impondo requisitos técnicos e operacionais que devem ser seguidos pelas empresas durante a instalação e manutenção dos equipamentos.

A Norma **NT.016.EQTL [13]** define diretrizes técnicas para serviços e instalações elétricas, visando a segurança, confiabilidade e eficiência das redes de distribuição. Ela abrange especificações de materiais, procedimentos de instalação, manutenção, operação, segurança e conformidade regulatória, além de promover práticas sustentáveis e eficiência energética.

A norma traz o padrão para a identificação dos ocupantes no cabo do ocupante, como mostrado na Figura [14], e também

a maneira como deve ser feito no poste, conforme a Figura [15].

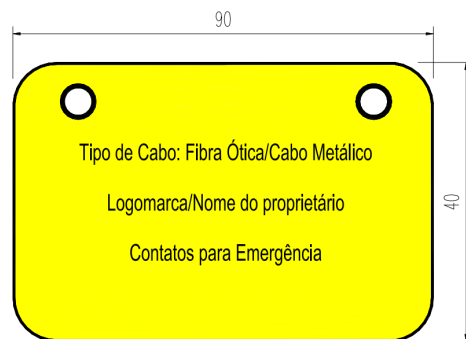


Fig. 14. Modelo de plaqueta de identificação para cabo do ocupante.Fonte: [13].

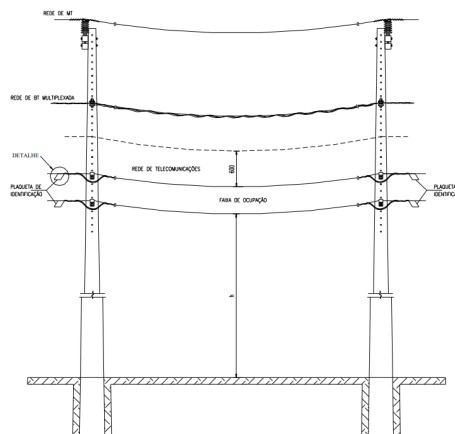


Fig. 15. Identificação de compartilhamento de postes.Fonte: [13].

O padrão de espaçamento entre postes e a localização para cabos ópticos, conforme a figura [16], também é especificado na norma.

A norma especifica que estruturas com equipamentos, como transformadores, não podem ter mais equipamentos passivos, como **CEO** e **CTO**. Essa situação e o espaçamento para cabos são abordados na figura [17].

Além disso, a norma inclui diretrizes para a resolução de conflitos entre as partes envolvidas, promovendo um ambiente colaborativo que beneficia tanto as operadoras de telecomunicações quanto a concessionária de energia elétrica. Este conjunto de normas também considera a sustentabilidade, ao incentivar o uso eficiente dos recursos existentes e minimizar o impacto ambiental, evitando a proliferação desordenada de novas infraestruturas.

III. METODOLOGIA DO PROJETO

Nesta seção, serão apresentados os seguintes conceitos:

- Planejamento do Projeto
- Levantamento de Campo
- Design da Rede
- Aspectos de Segurança e Compatibilidade
- Infraestrutura e Ferragens

A. Planejamento do Projeto

O planejamento do projeto de uma rede **FTTH** é uma etapa crítica que envolve uma série de atividades meticulosas e interdependentes, destinadas a garantir que o projeto seja executado de maneira eficiente, dentro do orçamento e do cronograma estabelecidos.

O **primeiro passo** no planejamento é a realização de um estudo de viabilidade, que inclui a análise da demanda de mercado, o levantamento das necessidades específicas dos usuários e a avaliação das condições técnicas e econômicas do projeto.

Este estudo deve considerar fatores como a densidade populacional da área de atendimento, as características geográficas e urbanísticas, e as regulamentações locais que podem impactar a implementação.

O **segundo passo**, é essencial definir a topologia da rede, selecionando a arquitetura que melhor atende aos requisitos de desempenho e custo-benefício, como a escolha entre uma topologia ponto-a-ponto ou em estrela, e a determinação dos pontos de distribuição e de acesso.

A seleção dos equipamentos e materiais também faz parte do planejamento, incluindo a especificação dos cabos de fibra ótica, *splitters*, **ONUs**, e outros componentes necessários, assegurando que todos os itens atendam aos padrões de qualidade e compatibilidade técnica.

Além disso, o planejamento deve incluir a elaboração de um cronograma, que divide o projeto em fases específicas, desde a engenharia de campo e a instalação física dos cabos, até a configuração e testes dos equipamentos.

A alocação de recursos humanos e financeiros é outro as-

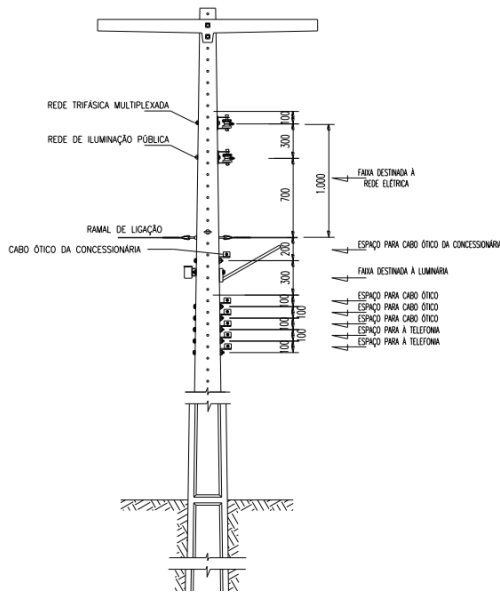


Fig. 16. Distância para compartilhamento de postes. Fonte: [13].

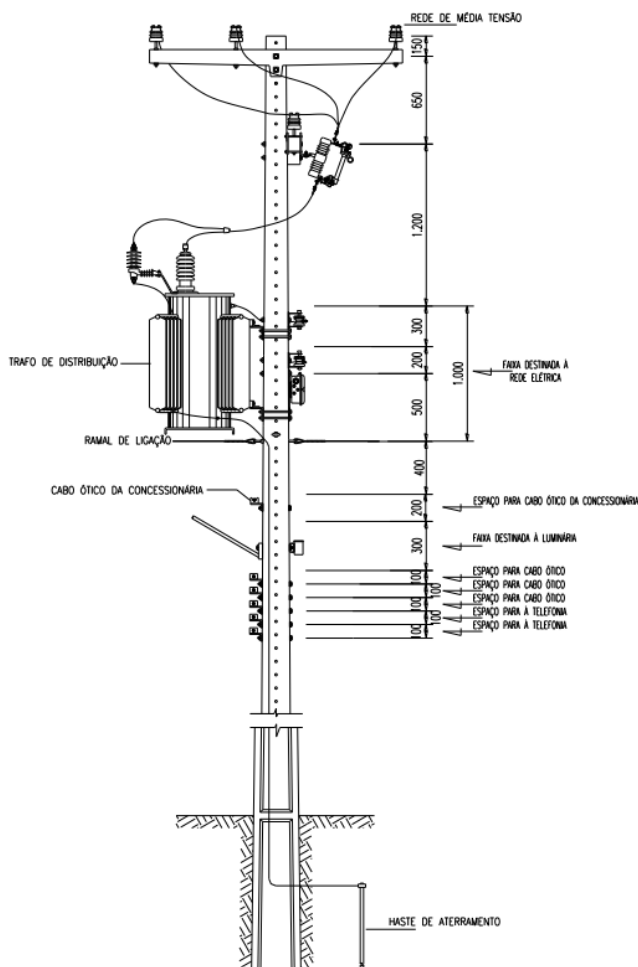


Fig. 17. Compartilhamento de postes, estrutura com equipamento. Fonte: [13].

pecto importante, garantindo que todas as equipes envolvidas, desde os engenheiros de projeto até os técnicos de instalação, estejam devidamente treinadas e coordenadas. O planejamento também deve contemplar a gestão de riscos, identificando potenciais obstáculos e desenvolvendo estratégias para mitigá-los, como planos de contingência para atrasos ou falhas técnicas.

B. Levantamento de Campo

O levantamento de campo é uma etapa essencial no planejamento e implementação de uma rede (FTTH), pois fornece as informações necessárias para a elaboração de um projeto preciso e eficaz. Este processo envolve a coleta de dados sobre a área de implantação, que inclui a análise topográfica, a infraestrutura existente, e as condições ambientais e urbanísticas.

A **primeira fase** do levantamento de campo consiste em mapear a área de cobertura, identificando as principais vias de acesso, a localização de edifícios residenciais, comerciais e outros pontos de interesse que necessitam de conexão.

Utilizando ferramentas de georreferenciamento, como sistemas de informação geográfica (SIG) e drones, é possível obter uma visão abrangente e precisa do terreno, facilitando a identificação de obstáculos físicos, como rios, estradas e vegetação densa, que podem influenciar o traçado da rede.

Além disso, é crucial realizar um inventário da infraestrutura já existente, como postes, dutos e caixas de passagem, que poderão ser utilizados no compartilhamento de infraestrutura, reduzindo custos e tempo de implementação.

Durante o levantamento, também são coletadas informações sobre as condições técnicas das estruturas disponíveis, verificando sua capacidade de suportar novos cabos e equipamentos sem comprometer a segurança e a eficiência.

Outro aspecto importante é a avaliação das condições climáticas e ambientais, identificando áreas propensas a alagamentos, erosões ou outras condições adversas que possam impactar a durabilidade e a manutenção da rede.

A interação com a comunidade local e autoridades municipais também é fundamental durante o levantamento de campo, garantindo que todas as permissões e autorizações necessárias

sejam obtidas e que as preocupações da comunidade sejam consideradas e mitigadas.

C. Design da Rede

A topologia de rede é um aspecto fundamental no projeto de redes FTTH, determinando como os componentes da rede estão fisicamente conectados e organizados para garantir eficiência operacional e confiabilidade do serviço [1, 25].

Existem várias topologias de rede que podem ser consideradas, sendo as mais comuns na implementação de FTTH as topologias em estrela e ponto-a-ponto. A topologia em estrela é caracterizada por um ponto central, onde todas as conexões individuais dos usuários convergem. Neste caso, a OLT serve como o ponto central da rede, conectando-se diretamente às ONUs instaladas em cada residência ou edifício [1].

Esta topologia oferece facilidade de gerenciamento e escalabilidade, permitindo adicionar novos usuários sem interferir na operação dos demais. Por outro lado, a topologia ponto-a-ponto envolve uma conexão direta entre a OLT e cada ONU, sem um ponto central de concentração [25].

A escolha entre essas topologias depende de diversos fatores, como a densidade populacional da área de implantação, as exigências de desempenho da rede e as condições econômicas do projeto [1].

A distribuição de pontos de acesso em um projeto de rede FTTH é um aspecto crucial que visa a garantir uma cobertura adequada e eficiente dos serviços de telecomunicações em uma determinada área de implantação [14].

Em áreas de alta densidade populacional, a distribuição dos pontos de acesso deve ser mais concentrada, garantindo que um número maior de usuários seja atendido de maneira eficiente sem comprometer o desempenho da rede [14].

A escolha dos locais exatos para instalação dos pontos de acesso também envolve aspectos técnicos, como a capacidade de carga dos postes e a viabilidade de acesso aos dutos subterrâneos [23, 24].

Em resumo, a distribuição estratégica dos pontos de acesso é essencial para o sucesso de um projeto FTTH, assegurando que os serviços de internet de alta velocidade sejam entregues de maneira confiável e eficiente aos usuários finais [14].

D. Aspectos de Segurança e Compatibilidade

Os aspectos de segurança e compatibilidade são fundamentais em projetos de redes **FTTH**, garantindo que a infraestrutura e os equipamentos sejam projetados e implementados de maneira a proteger tanto os dados dos usuários quanto a integridade física da rede [18, 29].

Em termos de segurança, é essencial implementar medidas robustas para proteger contra acessos não autorizados e ataques cibernéticos, uma vez que as redes **FTTH** transportam uma quantidade significativa de dados sensíveis. Isso inclui a utilização de criptografia adequada para proteger o tráfego de dados, *firewalls* e sistemas de detecção de intrusos para monitorar e bloquear atividades maliciosas, além de políticas de segurança claras e procedimentos de gerenciamento de acesso [18].

Em relação à compatibilidade, é crucial assegurar que todos os componentes da rede, desde os cabos de fibra ótica até os equipamentos ativos como **OLTs** e **ONUs**, sejam interoperáveis e cumpram com os padrões e normas técnicas estabelecidas [29].

Isso inclui conformidade com especificações como as definidas pela **ITU-T** e outras organizações reguladoras relevantes [18]. Além disso, é importante considerar a compatibilidade com sistemas legados e futuras atualizações de tecnologia para garantir a longevidade e a adaptabilidade da rede ao longo do tempo [29].

E. Cálculo de Custos

O cálculo de custos em projetos de redes **FTTH** é uma etapa crucial para determinar a viabilidade econômica e financeira do empreendimento. Envolve a avaliação detalhada dos custos associados à infraestrutura física, equipamentos, mão de obra, manutenção e operação ao longo do ciclo de vida do projeto [12].

Inicialmente, os custos diretos incluem a aquisição de materiais como cabos de fibra ótica, equipamentos ativos (como **OLTs** e **ONUs**), *splitters* óticos, postes, dutos e caixas de emenda [26].

Além disso, são considerados os custos com licenciamento e permissões regulatórias necessárias para instalação da rede,

bem como os custos de mão de obra para engenharia, instalação e configuração dos equipamentos [12].

Os custos indiretos, por sua vez, englobam despesas administrativas, custos operacionais como energia elétrica e manutenção periódica, além de provisões para expansão futura e atualizações tecnológicas [12].

É crucial também realizar uma análise de retorno sobre o investimento (ROI), considerando o potencial de receitas geradas pelos serviços de internet oferecidos aos usuários finais [26].

Estratégias para redução de custos, como o compartilhamento de infraestrutura com outros provedores de serviços ou o uso de tecnologias que minimizem o consumo de energia, também são exploradas durante esta fase [26].

A precisão no cálculo de custos não apenas determina a viabilidade econômica do projeto, mas também apoia decisões estratégicas relacionadas ao financiamento e ao planejamento financeiro a longo prazo [26].

F. Infraestrutura e Ferragens

Considerando a configuração da infraestrutura no poste da distribuidora, devem-se considerar os equipamentos e o arranjo de ferragens necessários para a sustentação dos cabos nos postes. Para a rede deste projeto, serão usados dois tipos de equipamentos de ferragens: equipamentos de **passagem** e equipamentos de **ancoragem**.

As ferragens para sustentação de uma rede são compostas principalmente por: Alça Pré-formada, **BAP** (*Bracket Attachment Plate*), **SUPA** (*Suspension and Anchor Unit*) e olhal, mostrados nas figuras [18, 19, 20] e [21].



Fig. 18. Alça Pré-formada. Fonte: [32]

Nos casos de ancoragem, são utilizadas principalmente as

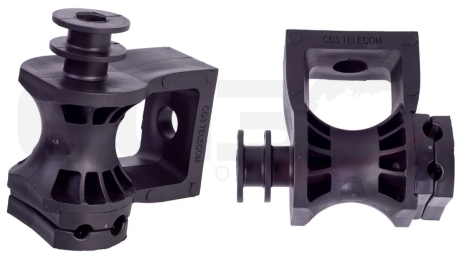


Fig. 19. SUPA.Fonte: [32]



Fig. 20. BAP.Fonte: [32]



Fig. 21. Olhal.Fonte: [32]

ferragens olhal, BAP e Alça Pré-formada na configuração da figura 22.

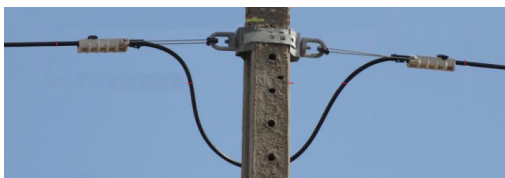


Fig. 22. Ancoragem.Fonte:[22]

Ancoragem é empregada em quatro casos:

- No poste inicial e final do lance de cabo, como na figura 23.
- Em transições de via, como na figura 24.
- Quando há mudança de direção, como na figura 25.
- Existência de passivo,CEO ou CTO, no poste.

Nos demais casos, em que o cabo apenas passa pelo poste, são utilizados os equipamentos de passagem composta por

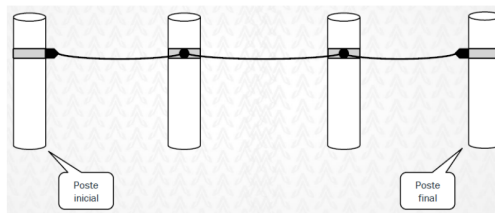


Fig. 23. Caso de ancoragem poste inicial e final. Fonte: [5]

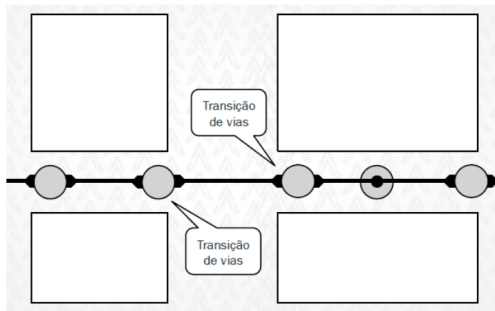


Fig. 24. Caso de ancoragem para transição de vias. Fonte: [5]

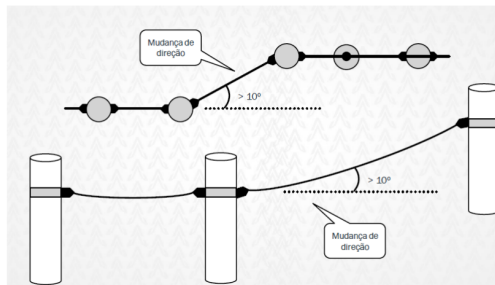


Fig. 25. Casa de ancoragem para mudança de direção. Fonte: [5]

SUPA e BAP, como na figura 26.

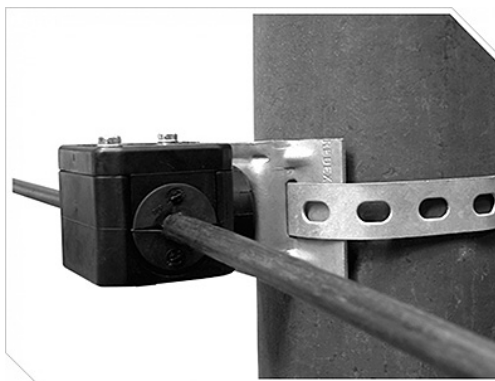


Fig. 26. Equipamento de passagem ou sustentação.Fonte: [8]

Essas estruturas de ferragens são abordadas na NT.016.EQTL, como demonstrado nas figuras 27 e 28.

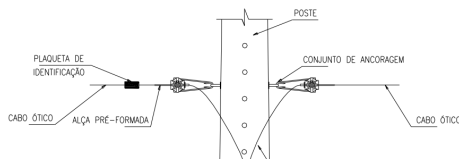


Fig. 27. Estrutura de ancoragem aborçada na NT.016.EQTL.
Fonte: [13].

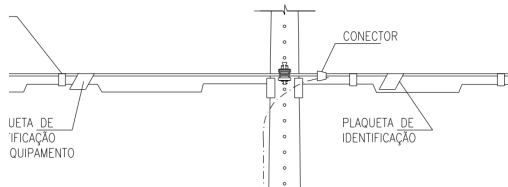


Fig. 28. Estrutura de passagem aborçada na NT.016.EQTL.
Fonte: [13].

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, serão apresentados alguns aspectos importantes no contexto da elaboração de projetos de redes **FTTH**:

- Análise da Área de Atendimento
- Dimensionamento da Rede
- Infraestrutura de Implantação
- Implementação dos Cabos de Fibra óptica e Passivos
- Plano de Fusão
- Projeto executivo e Compartilhamento de Infraestrutura

A. Análise da Área de Atendimento

No contexto de projetos de redes **FTTH**, as características geográficas desempenham um papel crucial na determinação da viabilidade e na eficácia da implantação da infraestrutura de fibra óptica. Essas características incluem topografia, cobertura vegetal, condições climáticas e tipo de solo, todos os quais impactam diretamente o planejamento e execução do projeto.

A topografia influencia diretamente a escolha da topologia da rede e a rota dos cabos de fibra óptica. Em áreas montanhosas, por exemplo, podem ser necessárias adaptações na instalação para contornar obstáculos naturais, enquanto em áreas planas a implantação pode ser mais direta e simplificada.

A cobertura vegetal também é um fator importante, afetando a acessibilidade para instalação de postes e dutos. Em áreas com vegetação densa, como florestas, podem ser necessárias

medidas adicionais para minimizar impactos ambientais e garantir a integridade da infraestrutura durante a instalação e operação.

As condições climáticas desempenham um papel crucial na durabilidade dos materiais utilizados na infraestrutura de **FTTH**. Materiais devem ser selecionados levando em conta a capacidade de resistir a intempéries como ventos fortes, chuvas intensas e variações de temperatura, garantindo assim a estabilidade e confiabilidade da rede ao longo do tempo.

O tipo de solo também impacta diretamente as técnicas de instalação. Solos mais compactos facilitam a colocação de dutos subterrâneos, enquanto solos mais rochosos ou instáveis podem demandar técnicas especiais de escavação e fixação para garantir a segurança e eficiência da instalação.

Além das condições físicas, a densidade populacional é um fator determinante na distribuição e número de pontos de acesso necessários para atender eficientemente uma determinada área. Em áreas urbanas densamente povoadas, a alta concentração de usuários exige uma maior densidade de pontos de acesso para assegurar a capacidade e qualidade do serviço. Já em áreas rurais ou de baixa densidade, a distribuição dos pontos de acesso pode ser mais espaçada, levando em conta a dispersão dos usuários.

A compreensão do perfil dos usuários também é essencial para atender às demandas específicas de conectividade. Diferentes perfis demográficos e socioeconômicos têm diferentes requisitos de largura de banda, número de dispositivos conectados por residência e padrões de uso da internet. Por exemplo, áreas residenciais podem necessitar de altas velocidades para suportar múltiplos usuários simultâneos, enquanto áreas comerciais priorizam conexões estáveis e de alta capacidade para suportar operações empresariais [26].

A princípio, a área selecionada está localizada em Goiânia, no estado de Goiás, no bairro Jardim Vila Boa. A abreviatura para o projeto será JP. Utilizando o software *Google Earth*, é realizada a delimitação da área solicitada.

B. Dimensionamento da Rede

A capacidade de transmissão é um aspecto fundamental que determina a eficiência e a qualidade dos serviços de telecomunicações oferecidos aos usuários finais. Refere-se à quantidade



Fig. 29. Área selecionada. Goiânia-GO, bairro Jardim Vila Boa
Fonte: (Google Earth).

máxima de dados que podem ser transmitidos através da infraestrutura de fibra ótica em um determinado período, medida em termos de taxa de transferência de dados ou largura de banda.

É influenciada por diversos fatores técnicos, como a tecnologia utilizada (como **GPON**, **EPON**, **XG-PON**), a distância entre o ponto central da rede (**OLT**) e as **ONUs**, e a eficiência dos equipamentos ativos como transmissores e receptores ópticos. Tecnologias mais avançadas, como a **GPON**, permitem taxas de transmissão de até vários **Gbps**, satisfazendo as demandas crescentes por serviços de internet de alta velocidade, *streaming* de vídeo em alta definição, e aplicações de realidade virtual e aumentada.

A capacidade de transmissão também deve considerar a escalabilidade da rede, permitindo futuras expansões e atualizações conforme a demanda por largura de banda aumenta ao longo do tempo. Além disso, é essencial realizar estudos de viabilidade para determinar a capacidade de transmissão necessária com base na densidade populacional, perfil de uso dos serviços de internet, e previsões de crescimento tecnológico.

A projeção de demanda envolve a análise e a previsão das necessidades futuras de largura de banda e serviços de internet em uma determinada área geográfica. Isso é essencial para dimensionar adequadamente a capacidade da rede e garantir que ela seja capaz de suportar o crescimento esperado no número de usuários e no volume de tráfego de dados ao longo do tempo.

A projeção de demanda considera diversos fatores, como o aumento no número de dispositivos conectados por residência, a evolução nas aplicações e serviços digitais utilizados pelos

usuários, e as mudanças nos padrões de consumo de internet. Métodos estatísticos e modelos matemáticos são frequentemente empregados para analisar dados históricos de uso da internet, tendências de mercado e previsões econômicas que possam influenciar o crescimento da demanda por largura de banda.

Além disso, é crucial realizar consultas com comunidades locais e *stakeholders* para entender suas necessidades específicas e adaptar as projeções de demanda de acordo com as características socioeconômicas e demográficas da região.

A precisão na projeção de demanda é fundamental para evitar sub ou superdimensionamento da infraestrutura, garantindo que os investimentos em rede sejam otimizados e que os serviços oferecidos atendam adequadamente às expectativas dos usuários finais.

Partindo desse pressuposto, é feita a estimativa de **HPs**(pontos de acesso) usando o mapa digital da cidade disponibilizado pela prefeitura.



Fig. 30. Mapa disponibilizado pela prefeitura de Goiânia-GO [27].

Analisando os dados do mapa digital, visto na figura 30, junto ao levantamento de campo chegou-se ao valor de 1646 residências e comércios na região solicitada. Considerando uma **taxa de adesão de 70%**, a estimativa de residências que efetivamente contratarão o serviço de **FTTH** é calculada da seguinte forma:

$$HP_{\text{estimados}} = HP_{\text{total}} \times \text{Taxa de Adesão} \quad (1)$$

Substituindo os valores:

$$HP_{\text{estimados}} = 1646 \times 0,70 = 1155$$

Cada **CTO** pode atender a um número específico de residências, dependendo da configuração da rede e da densidade habitacional. Para este projeto, consideramos que cada **CTO**

terá um **splitter 1:16**(nível 2), que tem a capacidade de dividir o sinal de uma fibra para 16 saídas, atendendo assim 16 residências. Portanto, o número de **CTOs** necessárias é calculado da seguinte forma:

$$CTO_{necessárias} = \frac{HP_{estimados}}{HP_{por\ CTO}} \quad (2)$$

Substituindo os valores:

$$CTO_{necessárias} = \frac{1155}{16} \approx 72,19$$

Arredondamos para 72 **CTOs** para atender a demanda inicial. A distribuição das **CTOs**, calculada anteriormente, é geralmente definida pela preferência do cliente junto à disponibilidade de postes para tal.

No projeto, foi considerada a preexistência do cabo de 36 FO ligando o Ponto de Presença (POP), junta às suas **CEOs**, à região pretendida.

Para cada 8 **CTOs**, é necessária uma **CEO**. Para as 8 **CEOs** com 1 **splitter 1:8**(nível 1), é necessária uma **OLT** com 8 portas. No entanto, o ideal é utilizar uma **OLT** com mais portas, permitindo futuras expansões e garantindo a flexibilidade da rede.

C. Plano de Implantação

Inicialmente, o cronograma de execução estabelece as atividades preparatórias, como levantamentos topográficos e geotécnicos, análise de requisitos regulatórios e obtenção de licenças necessárias junto às autoridades competentes.

Em seguida, define-se a fase de projeto, que inclui o dimensionamento da infraestrutura de rede, escolha dos equipamentos **GPON** e cabos de fibra ótica, e elaboração de projetos executivos.

Posteriormente, são delineadas as etapas de instalação física, abrangendo a preparação do local, instalação dos cabos e equipamentos **GPON**, e realização de testes de aceitação e certificação.

O cronograma também contempla atividades relacionadas à integração dos sistemas, configuração de software e hardware,

treinamento de equipes operacionais e, finalmente, a fase de operação assistida e monitoramento pós-implantação.

A alocação de recursos humanos, materiais e financeiros é cuidadosamente planejada de acordo com as necessidades de cada fase do projeto, visando a garantir o cumprimento dos prazos estabelecidos e a qualidade dos serviços entregues aos usuários finais.

Eventuais ajustes e revisões no cronograma são previstos para lidar com imprevistos, como condições climáticas adversas ou alterações regulatórias, assegurando a flexibilidade necessária para a adaptação durante o desenvolvimento do projeto.

Dentro do plano de implantação de um projeto de rede **FTTH** residencial, a alocação de recursos é uma atividade crucial que visa a garantir a eficiência e o sucesso da implementação da infraestrutura de fibra ótica.

A alocação de recursos abrange diversos aspectos, incluindo recursos humanos, materiais, financeiros e temporais. Primeiramente, é essencial dimensionar adequadamente a equipe de trabalho, composta por engenheiros, técnicos e operadores especializados em redes de telecomunicações.

Cada membro da equipe desempenha funções específicas, desde o planejamento e projeto até a instalação e configuração dos equipamentos **GPON** e dos cabos de fibra ótica. A alocação de materiais envolve a gestão dos insumos necessários para a instalação da rede, como cabos ópticos, conectores, caixas de emenda, *racks* e equipamentos ativos.

Garantir a disponibilidade oportuna e a qualidade desses materiais é crucial para evitar atrasos e garantir a integridade da infraestrutura instalada. Em termos financeiros, a alocação de recursos requer um orçamento que cubra todas as fases do projeto, desde os custos iniciais de planejamento e licenciamento até os investimentos em equipamentos e custos operacionais.

A gestão financeira cuidadosa assegura que o projeto seja executado dentro do orçamento planejado, com a consideração de contingências para imprevistos que possam surgir durante a implantação.

Além disso, a alocação de recursos temporais envolve a definição de cronogramas precisos para cada fase do projeto, garantindo que todas as atividades sejam realizadas dentro dos

prazos estabelecidos. Isso inclui desde o tempo necessário para o planejamento e preparação até a execução e testes finais da rede **FTTH**.

D. Infraestrutura de Implantação

A instalação dos cabos inicia-se com o planejamento da rota de implantação, levando em consideração fatores como topografia do terreno, obstáculos físicos, regulamentações locais e necessidades específicas dos usuários.

Após o planejamento, procede-se com a preparação do local de instalação, que pode envolver a limpeza e a preparação do trajeto para a passagem dos cabos, garantindo condições ideais para a operação dos equipamentos e a proteção da fibra ótica contra danos mecânicos ou ambientais

Durante a instalação propriamente dita, os cabos de fibra ótica são cuidadosamente manipulados e conectados aos pontos de acesso, como caixas de emenda e distribuição, seguindo procedimentos rigorosos para garantir a integridade dos conectores e a minimização da atenuação do sinal óptico.

Após a instalação física dos cabos, são realizados testes de aceitação e certificação, como (**OTDR**) e testes de perda de inserção, para verificar a qualidade da instalação e garantir que os parâmetros de desempenho especificados sejam atendidos.

Por fim, a documentação detalhada de todo o processo de instalação é fundamental para facilitar a manutenção futura, diagnósticos de falhas e expansões da rede

A instalação dos equipamentos **GPON** começa com a preparação do local onde serão instaladas as **OLTs** e as **ONUs**, garantindo que o ambiente esteja adequado para a instalação dos equipamentos ativos.

As **OLTs** são instaladas em centros de dados ou em salas de telecomunicações centralizadas, conectadas diretamente aos cabos de fibra ótica que chegam dos provedores de serviço. Esses equipamentos são responsáveis pelo gerenciamento e distribuição do tráfego óptico para múltiplas **ONUs** localizadas nas residências dos usuários finais. As **ONUs**, por sua vez, são instaladas nas unidades residenciais, proporcionando interfaces de rede local para os usuários se conectarem à rede ótica.

Durante o processo de instalação, é essencial seguir as normas e diretrizes técnicas específicas para garantir a in-

tegridade dos equipamentos e a qualidade da conexão. Isso inclui o correto dimensionamento dos *racks* e gabinetes para acomodação dos equipamentos, a utilização de técnicas de gerenciamento de cabos para evitar interferências e danos físicos, e a implementação de medidas de segurança elétrica e ambiental adequadas.

Após a instalação física dos equipamentos, são realizados testes de ativação e integração para verificar o funcionamento correto de cada componente da rede **GPON**, assegurando que os parâmetros de desempenho e qualidade de serviço sejam atendidos conforme especificado nos requisitos do projeto.

A documentação detalhada de todo o processo de instalação dos equipamentos **GPON** é crucial para facilitar operações futuras de manutenção, monitoramento de desempenho e expansões da rede.

O compartilhamento de infraestrutura envolve a utilização de elementos físicos comuns, como postes, dutos subterrâneos e galerias de serviços públicos, por múltiplos provedores de serviços de telecomunicações.

E. Implementação dos Cabos de Fibra ótica e Passivos

No caso específico de redes **FTTH**, onde a instalação de cabos de fibra ótica é necessária, o compartilhamento eficiente dessas infraestruturas físicas pode reduzir significativamente os custos de implantação, especialmente em áreas urbanas densamente povoadas [13]. Abaixo, tabela III com valores estimados para o projeto. Os valores para os cabos foram obtidos a partir das medidas do *Google Earth Pro* [15].

Tabela III. Resultados do Dimensionamento da Rede e Materiais de Cabo. Fonte: Autoria própria.

Parâmetro	Quantidade
Número de Residências Totais	1.646
Taxa de Adesão Estimada	70%
HP's Estimados	1,152
CTOs Necessárias	72
OLTs Necessárias	1
CEOs Necessárias	8
CABO AS 02FO (m)	6,270
CABO AS 04FO (m)	4,910
CABO AS 12FO (m)	3,160

Primeiramente, define-se a localização das **CTOs** considerando o valor calculado no tópico de **Dimensionamento da**

Rede. Estas estão representadas na figura 31 pelos **triângulos vermelhos**. Elas devem ser posicionadas considerando tanto a necessidade de cliente, quanto a concentração urbana dentro da área selecionada, reduzindo os custos com cabeamento até a ONU.



Fig. 31. CTOs do FTTH-Vila Boa. Fonte: Autoria própria [15]

Em segundo lugar, é definido o posicionamento das **CEOs**, representadas na figura 32 pelo **anel branco**. Elas foram posicionadas de modo que cada uma abranja 8 CTOs, pois cada CEO possui um *splitter* 1x8. Cada um desses conjuntos – 1 CEO e 8 CTOs – será um **node** mostrado na figura 33.



Fig. 32. CEOs do FTTH-Vila Boa. Fonte: Autoria própria [15]



Fig. 33. Nodos do FTTH-Vila Boa. Fonte: Autoria própria [15]

Em terceiro lugar, o **Backbone**, responsável por interligar os componentes CEOs com a OLT, foi definido como mostrado na figura 34. Neste projeto, considera-se parte do

backbone já existente – toda a estrutura de cabo AS 36 FO e suas duas CEOs – e parte a ser implementada com cabos AS 12 FO. Consulte as tabelas IV e I para cores e tipos de cabos, respectivamente.

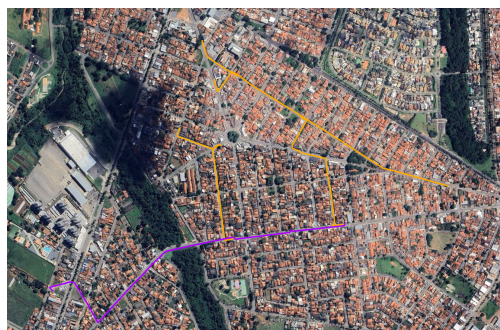


Fig. 34. Backbone do FTTH-Vila Boa. Fonte: Autoria própria [15]

Por fim, temos a definição da alimentação feita a partir dos CEOs até as CTOs, conforme mostrado na figura 35 e para uma melhor visualização na figura 36. Foram utilizados CABO AS 02 FO e CABO AS 04 FO.



Fig. 35. Distribuição de elementos passivos e cabos(Google Earth)



Fig. 36. Node JP - CEO 32 pontos de distribuição central(Google Earth)

F. Plano de Fusão

O plano de fusão é uma etapa na qual é feito o planejamento da execução da fusão das fibras, envolvendo a junção precisa

Tabela IV. Legenda para para imagens do Google Earth

Tipo de estrutura	Característica na imagem
CEO	Circulo branco
CTO	Trinagulo Vermelho
CABO AS 36 FO	Linha Roxa
CABO AS 12 FO	Linha Laranja
CABO AS 02 FO	Linha Magenta
CABO AS 04 FO	Linha Amarela

das fibras ópticas para garantir a integridade e a eficiência da transmissão de dados. Este plano engloba todo o processo de fusão das fibras, iniciando-se pela preparação adequada das extremidades, que inclui a remoção das camadas protetoras e o corte das fibras com ferramentas de precisão para obter superfícies limpas e uniformes. As fibras são então alinhadas com precisão utilizando máquinas de fusão, que empregam métodos de alinhamento por núcleo para garantir a mínima perda de inserção.

O processo de fusão é realizado aplicando calor controlado através de arcos elétricos, fundindo as extremidades das fibras em uma junção contínua. Após a fusão, as junções são protegidas com tubos de proteção que garantem resistência mecânica e proteção ambiental.

Finalmente, são realizados testes de qualidade, como perda de inserção e reflexão, utilizando **OTDR** para assegurar que as junções estão dentro dos padrões aceitáveis de desempenho.

No projeto, foram utilizados dois níveis de *splitter*, nível 1 na **CEO** e o nível 2 na **CTO**. Logo, as perdas de sinal decorrentes da divisão de sinal e emenda estão apresentadas na tabela **V**. Analisar a perda de sinal é importante, pois em uma rede **FTTH** deve-se atender aos critérios dos componentes passivos, mostrados na tabela **VI**.

Tabela V. Valores de Referência para Componentes Passivos de Fibra Óptica [26].

Componente	Valor de Referência (dB)
Fibra monomodo (por km)	0,35
Emenda por fusão	0,1
Emenda mecânica	0,5
Conector	0,325
Splitter 1:2	3,5
Splitter 1:4	7,5
Splitter 1:8	10,5
Splitter 1:16	14,5
Splitter 1:32	18,5
Splitter 1:64	22,5

Tabela VI. Características Ópticas dos Componentes Ativos [26].

Parâmetros	OLT	ONT
Potência mínima	+1,5 dBm	+0,5 dBm
Potência máxima	+5 dBm	+5 dBm
Sensibilidade mínima	-28 dBm	-27 dBm
Sobrecarga mínima	-8 dBm	-8 dBm

Para o projeto, o nível de potência óptica na saída da **OLT** é +5 dBm a 1490 nm. Com base nessas especificações, é importante assegurar que a potência recebida pela **ONT** esteja dentro da faixa de operação (sensibilidade). Para isso, é necessário que a diferença entre a potência de saída e a perda do sinal seja superior à sensibilidade do receptor. A garantia do orçamento de potência é essencial, conforme a equação [26]:

$$P_{tx} - A_t > S_{rx} \quad (3)$$

Onde: P_{tx} = Potência de saída (Tx), em dBm; A_t = Atenuação total; S_{rx} = Sensibilidade (Rx), em dBm.

Essa abordagem garante a operação adequada da **ONT**, mantendo a integridade e eficiência do sinal transmitido. A atenuação total do enlace é determinada pela equação [26]:

$$A_t = A_{fo} + P_c + P_e + P_p + M_s \quad (4)$$

Onde: A_{fo} = Atenuação total da fibra óptica, em dB; P_c = Perda total dos conectores, em dB; P_e = Perda total nas emendas, em dB; P_p = Perda total nos elementos passivos, em dB; M_s = Margem de segurança, em dB.

No projeto para o node mostrado na Figura **36**, o valor é apresentado na Figura **37**, que foi calculado usando uma planilha.

CÁLCULO DE POTÊNCIA												
POTÊNCIA DE SAÍDA		SENSIBILIDADE										
CTO	Km de Cabo	Reserva	Km com Reserva	Qtd. Conectores	Qtd. Fusões	Splitter 1/2	Splitter 1/4	Splitter 1/8	Splitter 1/16	At		
JP - 32.1	3,07	0,30	3,08	4	8			1	1	26,7	5,3	-21,7
JP - 32.2	3,07	0,30	3,08	4	8			1	1	26,7	5,3	-21,7
JP - 32.3	3,07	0,30	3,08	4	8			1	1	26,7	5,3	-21,7
JP - 32.4	3,07	0,30	3,08	4	8			1	1	26,7	5,3	-21,7
JP - 32.5	3,07	0,30	3,08	4	8			1	1	26,7	5,3	-21,7
JP - 32.6	3,07	0,30	3,08	4	8			1	1	26,7	5,3	-21,7
JP - 32.7	3,07	0,30	3,08	4	8			1	1	26,7	5,3	-21,7
JP - 32.8	3,07	0,30	3,08	4	8			1	1	26,7	5,3	-21,7

Fig. 37. Cálculo de Potência para CTO JP - CÉLULA 32. Fonte: Autoria própria

Desse modo, o valor do sinal na **ONT** (-20,7 dBm) previsto

é maior que o valor aceitável (-27 dBm). Assim, fica estabelecida a viabilidade do projeto para as configurações definidas, pois os valores de sensibilidade estão dentro da margem.

Os cabos ópticos são construídos com padrões de cores na fibra para identificação (figura 38). Na figura 38 pode-se identificar tanto o padrão nacional quanto o internacional.

Sequência	Padrão ABNT (BRASIL)	Padrão Internacional EIA598-A
1	Verde	Azul
2	Amarelo	Laranja
3	Branco	Verde
4	Azul	Marrom
5	Vermelho	Cinza
6	Violeta	Branco
7	Marrom	Vermelho
8	Rosa	Amarelo
9		
10	Cinza	Violeta
11	Laranja	Rosa
12	Ciano	Ciano

Fig. 38. Código de cores nacional e internacional para fibras ópticas. Fonte: [30]

Para a documentação e a fusão realizadas pelas equipes, elaborase um diagrama de fusão da rede. Esse diagrama detalha tanto os componentes passivos da rede quanto as fibras que serão conectadas.

No nó JP 32, que estamos usando como exemplo, o caminho que as fibras percorrem, saindo da CEO até as CTOs, pode ser visto na figura 39.

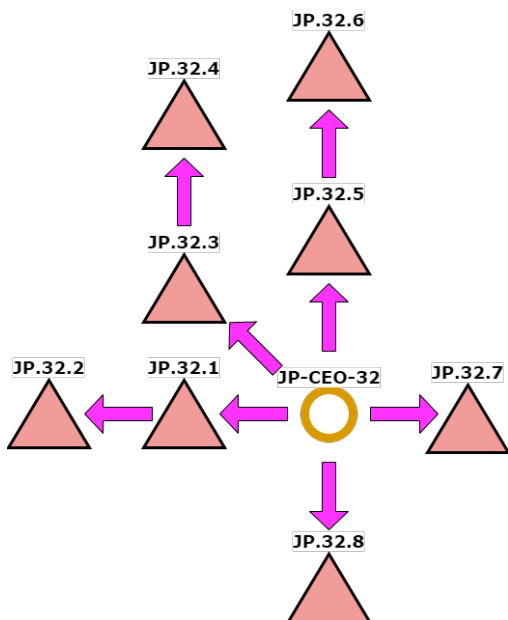


Fig. 39. Diagrama do nó JP 32. Fonte: Autoria própria.

Nesse nó, o diagrama de fusão da CEO pode ser visto na figura 40, o da CTO JP.32.3 na figura 41 e o da CTO JP.32.4 na figura 42.

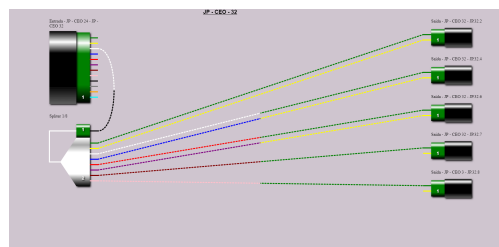


Fig. 40. Diagrama de fusão da JP CEO 32. Fonte: Autoria própria.

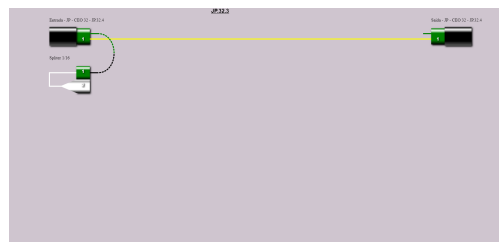


Fig. 41. Diagrama de fusão da CTO JP.32.3. Fonte: Autoria própria.

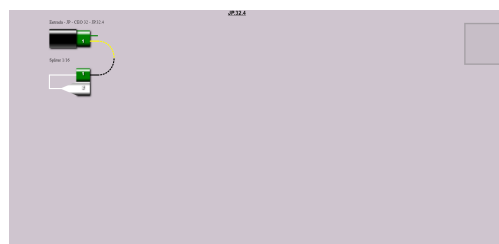


Fig. 42. Diagrama de fusão da CTO JP.32.4. Fonte: Autoria própria.

G. Projeto executivo e Compartilhamento de Infraestrutura

Depois de definido o projeto, é importante fazer a documentação do mesmo.

Elaborado em formato DWG utilizando o software AutoCAD, o projeto executivo fornece uma representação da rede, incluindo o layout dos cabos de fibra óptica, localização dos pontos de distribuição, equipamentos GPON e outros componentes essenciais. Este documento especifica as características técnicas dos materiais e equipamentos a serem utilizados. Com o projeto executivo é possível estimar a quantidade de equipamentos de ferragens da rede. Na figura 43 é retratado o nó da figura 36 no executivo, já na figura 48 e na tabela VII a descrição para as figuras.

Nas figuras 44, 45, 46 e 47 é possível visualizar as estruturas de CTO, CEO, ancoragem e passagem representadas no projeto. Como pode-se perceber, o foco do executivo é estimar

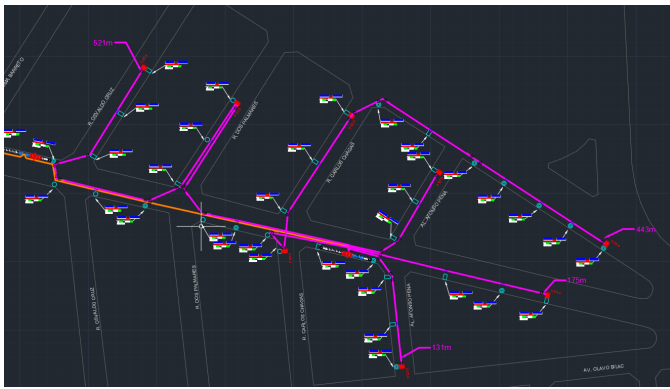


Fig. 43. Node JP - CEO 32 no projeto executivo. Fonte: Autoria própria.

a quantidade de materiais necessária para a execução do projeto e também para que as equipes de campo consigam executar a obra.

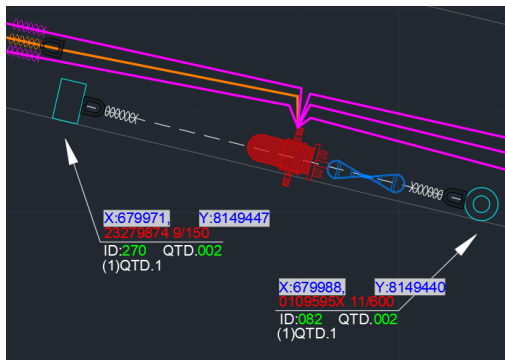


Fig. 44. Configuração da JP - CEO 32 no projeto executivo. Fonte: Autoria própria.

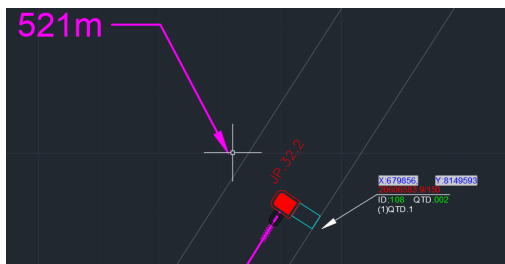


Fig. 45. CTO no projeto executivo. Fonte: Autoria própria.

Para o compartilhamento, é preciso seguir a descrição de acordo com as normas fixadas no tópico **Regulamentação e Compartilhamento**.

A primeira etapa envolve o cálculo de esforço sobre as estruturas. Os cálculos dos esforços exercidos sobre todos os cabos nas estruturas da concessionária são realizados com base na seguinte metodologia e cálculos [23]:

Para determinar o esforço mecânico total, é necessário

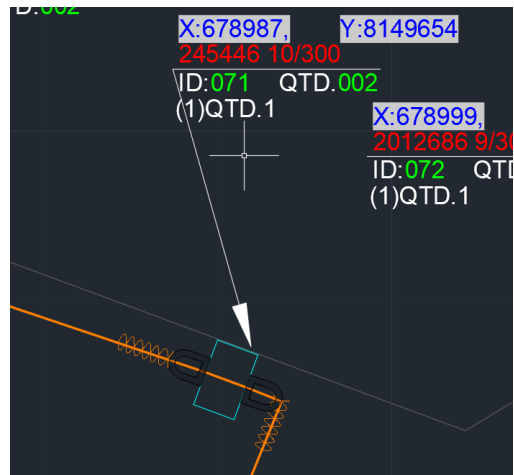


Fig. 46. Estrutura de ancoragem no projeto executivo. Fonte: Autoria própria

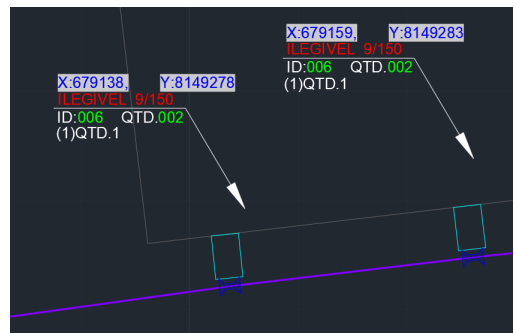








Fig. 47. Estrutura de passagem no projeto executivo. Fonte: Autoria própria

Tabela VII. Legenda para imagens do Autocad. Fonte: Autoria própria.

Projeto	Descrição
	Poste Concreto Circular
	Poste Concreto Duplo T
	Poste de Madeira
	Caixa de Emenda
	Suporte para Reserva Técnica
	Caixa Óptica

considerar a resultante das cargas que atuam sobre o cabo, ou seja, o seu próprio peso e a pressão do vento.

- P = peso próprio do cabo (Kg/m)
- H = componente horizontal, devido ao vento (Kg/m)

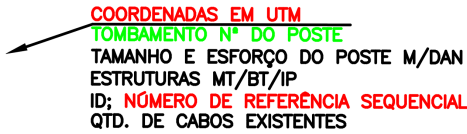


Fig. 48. Regras de nomenclatura para postes. Fonte: [23].

- $R = \text{carga resultante} \rightarrow \sqrt{P^2 + H^2}$

O cálculo da carga devido ao vento é dado por [23]:

$$H = P \cdot D \quad (\text{Kg/m}) \quad (5)$$

onde P é a pressão do vento por unidade de área (Kg/m^2) e D é o diâmetro do cabo (mm). A pressão do vento pode ser determinada pela expressão:

$$p = \frac{v^2}{8} \quad (\text{Kg/m}^2) \quad (6)$$

onde v é a velocidade do vento (m/s).

Para efeito de cálculo, adota-se para p o valor correspondente a uma velocidade de 20 m/s, ou seja, 72 Km/h [23].

A determinação do esforço total é dada pela fórmula [23]:

$$T = \frac{R \times L^2}{8 \times f} \quad (\text{Kgf}) \quad (7)$$

onde:

- $T = \text{Esforço total (Kgf)}$
- $f = \text{flecha (m)}$
- $L = \text{comprimento de vão (m)}$
- $R = \text{carga resultante (Kg/m)}$

A partir do cálculo, em cada poste usado na rede é averiguado se será necessária a troca do mesmo devido à quantidade de esforço exercido [23]. Por exemplo, o vetor de um poste 11/300 com um CTO (figura 49).

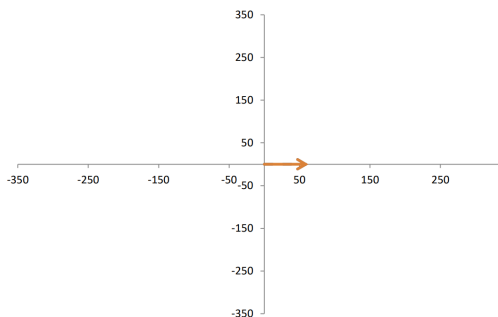


Fig. 49. Vetor de esforço em um poste 11/300. Fonte: Autoria própria.

A segunda etapa envolve orientações quanto a padrão a serem seguidos na implementação dos elementos passivos da rede.

A estrutura de implementação da CEO deve ser no meio do vão entre postes (figura 50).

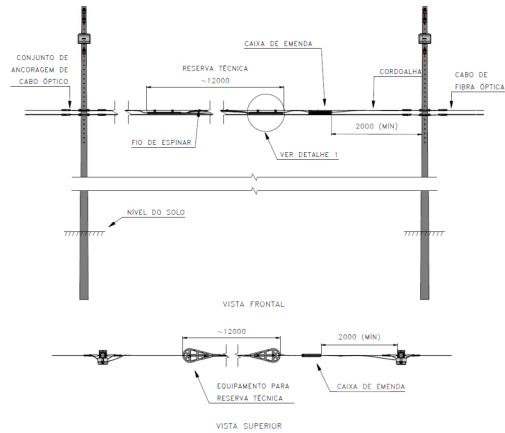


Fig. 50. A caixa de emenda e reserva técnica de cabo de fibra óptica instalada no meio do vão. Fonte: [23].

A estrutura de implementação da CTO deve ser na lateral do poste, como na figura 51.

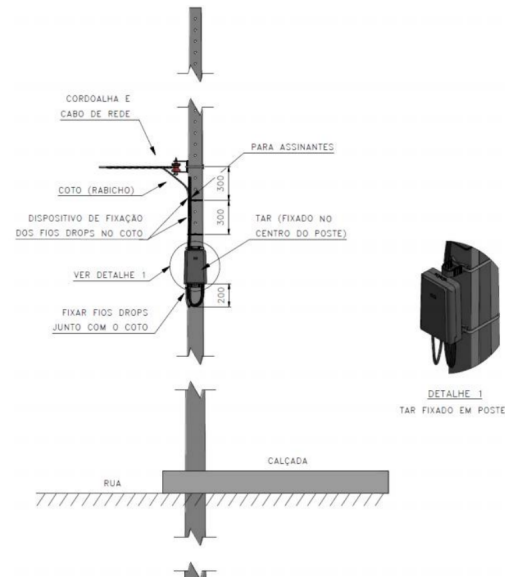


Fig. 51. Instalação da CTO, na lateral do poste. Fonte: [23].

A documentação para compartilhamento de infraestrutura deve conter tanto um memorial descritivo, disposição de estruturas no poste e método de cálculo, quanto os cálculos de esforços para cada poste da concessionária usados no projeto [13].

V. CONCLUSÕES

No mundo contemporâneo, as pessoas necessitam ter acesso a dados em alta velocidade, serviço de voz confiável e vídeo de qualidade superior. Caso esses serviços sejam entregues via linha de assinante digital, conexões por cabo, ou ainda arquiteturas *wireless*, as necessidades não são, por todo, preenchidas. Os consumidores estão mais exigentes em um mercado cada vez mais competitivo e exasperado.

FTTH é a arquitetura de fibra ótica ideal, que se desenvolveram, no geral, em resposta à necessidade dos clientes por vastos serviços e aplicações multimídia. É uma arquitetura de relativa facilidade de implementação e manutenção, se analisado o ponto de vista custo e benefício, afinal, o **FTTH** oferece recursos integrados de TV e telefonia digitais e internet em alta velocidade).

Mostrou-se que a arquitetura **FTTH** e seus avanços e benefícios na prestação de serviços de telecomunicações é altamente escalável, na qual banda larga de alta velocidade pode ser oferecida juntamente com TV digital e telefonia VoIP sem qualquer impacto na qualidade ou estabilidade. Dentre as Funções e Papéis na Rede **GPON**, o *Optical Line Terminal (OLT)* é um componente essencial em uma rede **GPON**.

Foram apresentados os principais elementos passivos em redes **FTTH**, que são responsáveis por garantir conexões estáveis e confiáveis, bem como alguns equipamentos usados na implementação da rede. Além disso, foram tratados alguns aspectos importantes no contexto da elaboração de projetos de redes, dentre eles a Análise da Área de Atendimento; o Dimensionamento da Rede; a Infraestrutura de Implantação; a Implementação dos Cabos de Fibra ótica e Passivos; o Plano de Fusão; e um Projeto executivo e Compartilhamento de Infraestrutura.

É importante enfatizar que, para monitorar a implantação efetiva de redes **FTTH**, as políticas regulatórias desenvolvidas pela **ANATEL** do Brasil desempenham um papel fundamental, associadas as regulamentações locais de cada estado e município. Estes regulamentos não só promovem o acesso equitativo a infra-estruturas partilhadas, mas também incentivam a inovação e a expansão contínua das redes de comunicações.

Em suma, as redes **FTTH** não são apenas uma evolução tecnológica, mas uma revolução na forma como nos conectamos

e interagimos digitalmente. Ao fornecerem uma base sólida para serviços de próxima geração, não só satisfazem as necessidades dos consumidores exigentes de hoje, como também estabelecem o padrão para o futuro das telecomunicações.

REFERÊNCIAS

- [1] Abejide, A. E., Duarte, P., Patel, R., Pandey, S., Kota, M. R., Pinho, C., Novo, C., Popoola, J. J., Ajewale, A. I., Lima, M., and Teixeira, A. (2024). Pon-fttx architecture and bandwidth analysis for future broadband communications. *IntechOpen*.
- [2] Albuquerque, A. M. (2018). Projeto e análise de uma rede gpon. *Universidade Federal do Ceará (UFC)*.
- [3] ANATEL (2018). Resolução nº 700, de 28 de setembro de 2018. Aprova o Regulamento sobre a Avaliação da Exposição Humana a Campos Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos Associados à Operação de Estações Transmissoras de Radiocomunicação.
- [4] André Felipe Rodrigues da Silva, Rafael Halfeld da Silva, Silvano Ribeiro de Oliveira, Thiago de Rezende Tazaki (2013). Guia: redes pon i: Novas tecnologias e tendências. <https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialpontec1/default.asp>. Acesso em: 29 de abril de 2024.
- [5] Araújo, F. H. V. (2019). *Projeto de uma rede GPON FTTH implantada na cidade de Santana do Acaraú*. Dissertação, Nome da Universidade. 75 f. : il. color.
- [6] Bank, E. I. (2020). How does a gigabit passive optical network (gpon) work?
- [7] Barbosa, V. d. A. (2018). A fibra ótica e sua aplicação nas telecomunicações. *Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação*.
- [8] Brasil, G. (2024). Técnicas de ancoragem. <https://giltecbrasil.com.br/site/>. Acesso em 06 de julho de 2024.
- [9] ConectWi (2024). Distribuidora telecom. <https://www.conectwi.com.br/>. Acessado em: 2 jul. 2024.
- [10] Costa, T. d. A., Gomes, A. M., and Albuquerque, D. C. d. (2014). Redes de acesso Óptico: Uma visão geral das tecnologias pon, gpon e epon. *Revista Brasileira de Telecomunicações*, 60(4):456–472.
- [11] das Comunicações, M. (2015). Lei geral das antenas. Lei nº 13.116, de 20 de abril de 2015, conhecida como Lei Geral das Antenas, estabelece normas gerais para implantação

- e compartilhamento da infraestrutura de telecomunicações.
- [12] de Estudos para o Desenvolvimento da Sociedade da Informação (Cetic.br), C. R. (2023). Tic domicílios 2023.
- [13] Energia, E. (2022). Nt.016.eqtl.normas e qualidade. Compartilhamento de Infraestrutura de Rede de Distribuição Aérea - Homologação: 07/07/2022.
- [14] Ferreira, L. A. (2018). Estudo de viabilidade de implantação de uma rede fth. *Universidade Federal de Uberlândia (UFU)*.
- [15] Google (2024). Google earth pro. <https://www.google.com/intl/pt-BR/earth/about/versions/>. Acesso em: 6 de julho de 2024.
- [16] GPON.nl (2023). Gpon advanced fiber technology - gigabit passive optical network. GPON.nl.
- [17] Grupo de Teleinformática e Automação (2024). Passive optical network (pon). <https://www.gta.ufrj.br/>. Acesso em: 29 de abril de 2024.
- [18] ITU-T (2008). G.984.1: Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics. Technical report, International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector. [Online]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1>.
- [19] Josep Prat, Pere E. Balaguer, Joan M. Gené, Oscar Díaz, Sergi Figuerola (2002). *Fiber-to-the-Home Technologies*. SpringerLink.
- [20] Martins, M. H. S. and Coelho, F. (2019). Estudo de caso da implementação de um fth (fiber-to-the-home) em condomínio residencial. *Revista de Engenharia e Tecnologia*.
- [21] MikWeb (2023). Olt: entendendo a tecnologia de linha óptica passiva. *MikWeb Blog*.
- [22] mk auth (2024). Técnicas de ancoragem. <https://mk-auth.com.br/>. Acesso em 06 de julho de 2024.
- [23] NBR15214 (2017). *NBR 15214: Rede de distribuição aérea de energia elétrica – compartilhamento de infraestrutura com redes de telecomunicação*. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro. Norma Brasileira.
- [24] NBR15688 (2009). *NBR 15688: Redes de distribuição aérea de energia elétrica com condutores nus*. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro. Norma Brasileira.
- [25] Picin, O. J. and Gimenez, E. J. C. (2015). Rede gpon: Conceito e aplicações. *Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL)*.
- [26] Pinheiro, J. (2017). *Redes ópticas de acesso em telecomunicações*. Elsevier, Rio de Janeiro, 1 edition.
- [27] Prefeitura de Goiânia (2024). Mapa fácil - prefeitura de goiânia. <https://portalmapa.goiania.go.gov.br/mapafacil/>. Acesso em: 20 de junho de 2024.
- [28] Rick Schiavinato (2021). The History, Development, and Future of Fiber to the Home. *MarketScale*.
- [29] Shahaei, M., Salehi, J. A., and Shahaei, M. R. (2020). *Optical Fiber Communication Systems: Components and Subsystems*. CRC Press.
- [30] Sistemas, F. (2024). Cabos Ópticos as. <https://www.fiberworks.com.br/telecomunicacao>. Acesso em 06 de julho de 2024.
- [31] Systems, C. (2023). Understand gpon technology.
- [32] TELECOM, C. (2024). Site de vendas. <https://cg3telecom.com.br/>. Acessado em: 2 jul. 2024.
- [33] Vargas, A. V. and Gonçalves, G. (2018). Fibra óptica e um estudo dirigido aos planos de internet disponíveis no brasil e em outros países. *Instituto Federal Farroupilha - Campus Frederico Westphalen (IFFar/FW)*.



Marcelo S. de Castro graduou-se em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Juiz de Fora (1992), com mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (1995) e doutorado em Engenharia Elétrica pela UnB (2010). Docente Associado da Universidade Federal de Goiás, tendo ingressado em 1996. Possui experiência na área de engenharia de redes, BI e educação em engenharia.



Ana Julia Batista Vilarinho graduanda em Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Goiás. Possui experiência em projetos de subestações, gestão de projetos, regulação e mercado. Atua na área de Regulação e Mercado na distribuidora Equatorial Energia Goiás.



Pedro Henrique Oliveira Fernandes é Técnico em Agropecuária pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Iporá (2018) e graduando em Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Goiás. Possui experiência em projetos de redes de telecomunicações, georreferenciamento e gestão de projetos.