



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CAMPUS SOBRAL**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**MARIA DARLY TELES FERNANDES**

**PROJETO E ANÁLISE DE UMA REDE GPON FTTH NO DISTRITO DE ARAQUÉM**

**SOBRAL**

**2023**

MARIA DARLY TELES FERNANDES

PROJETO E ANÁLISE DE UMA REDE GPON FTTH NO DISTRITO DE ARAQUÉM

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Campus Sobral da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Yuri Victor Lima de Melo.

SOBRAL

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- F41p Fernandes, Maria Darly Teles.  
Projeto e Análise de uma Rede GPON FTTH no Distrito de Araquém / Maria Darly Teles Fernandes. –  
2023.  
81 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Sobral,  
Curso de Engenharia Elétrica, Sobral, 2023.  
Orientação: Prof. Dr. Yuri Victor Lima de Melo.
1. Rede GPON FTTH. 2. Fibra Óptica. I. Título.

CDD 621.3

---

MARIA DARLY TELES FERNANDES

PROJETO E ANÁLISE DE UMA REDE GPON FTTH NO DISTRITO DE ARAQUÉM

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Campus Sobral da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em: 06/12/2023.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Yuri Victor Lima de Melo (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Me. Erick Aguiar Donato  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Me. David Nascimento Coelho  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À minha família que sempre me incentivou nesse sonho e acreditou em minha capacidade. À meu namorado que sempre me apoiou e sempre esteve comigo nessa jornada, a ele minha gratidão por não ter me deixado desistir em nenhum momento. Aos amigos que de alguma forma me ajudaram e apoiaram ao longo do curso.



## **AGRADECIMENTOS**

À Instituição UFC, pelo suporte financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio moradia que obtive ao longo do curso, sem essa ajuda não seria possível concluir minha graduação nesta instituição. À Instituição FUNCAP pelo apoio financeiro, através da bolsa de iniciação científica.

Ao Prof. Dr. Yuri Victor Lima de Melo, pela excelente orientação.

Aos professores participantes da banca examinadora Prof. Me. Erick Aguiar Donato e Prof. Me. David Nascimento Coelho pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

"Uma sociedade cresce bem quando homens velhos plantam árvores das quais nunca aproveitarão as sombras." (Provérbio grego.)

## RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso aborda a crescente dependência da sociedade moderna em meios de comunicação, com foco nas comunicações ópticas, especificamente na fibra óptica e na rede *Gigabit Passive Optical Network* (GPON). Inicialmente, são discutidos os elementos básicos das redes de telecomunicações, seguidos pelos principais tipos de redes de acesso com e sem fio, destacando suas vantagens e desvantagens. O trabalho também explora os fundamentos da fibra óptica, incluindo tipos e perdas associadas. Em seguida, concentra-se nas redes ópticas, com ênfase nas redes passivas, abordando os principais componentes da Passive Optical Network (PON) e suas características. Finalmente, o estudo apresenta a projeção de uma rede GPON utilizando a arquitetura *Fiber To The Home* (FTTH) para um distrito no município de Coreaú, cuja qual foram definidas as quantidades de Caixas de Terminações Ópticas (CTOs), Caixas de Emendas Ópticas (CEOs) e outros componentes.

**Palavras-chave:** Fibra óptica; rede PON; GPON FTTH.

## **ABSTRACT**

This work addresses the increasing dependence of modern society on communication means, focusing on optical communications, specifically on optical fiber and Gigabit Passive Optical Network (GPON). Initially, the basic elements of telecommunications networks are discussed, followed by the main types of wired and wireless access networks, highlighting their advantages and disadvantages. The thesis also explores the fundamentals of optical fiber, including types and associated losses. Subsequently, it focuses on optical networks, emphasizing passive networks and discussing the main components of Passive Optical Network (PON) and their characteristics. Finally, the study presents the projection of a GPON network using Fiber To The Home (FTTH) architecture for a district in the municipality of Coreaú, in which the quantities of Optical Termination Boxes (CTOs), Optical Splices Boxes (CEOs) and other components.

**Keywords:** Optical fiber; PON network; GPON FTTH.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Contratos de telecomunicações estabelecidos no Brasil em julho de 2023. . . . .	18
Figura 2 – Gráfico de <i>bits</i> por segundo dos últimos 7 anos no Brasil. . . . .	18
Figura 3 – Elementos básicos de telecomunicações. . . . .	23
Figura 4 – Como funciona internet via rádio. . . . .	25
Figura 5 – Como funciona internet via satélite. . . . .	26
Figura 6 – Arquitetura simplificada de uma rede móvel. . . . .	27
Figura 7 – Composição do cabo coaxial. . . . .	28
Figura 8 – Cabo UTP e STP. . . . .	29
Figura 9 – Reflexão e refração da luz. . . . .	30
Figura 10 – Desvio da luz segundo ângulo de incidência. . . . .	32
Figura 11 – Estrutura básica da fibra óptica. . . . .	32
Figura 12 – Estrutura da fibra multimodo índice degrau. . . . .	33
Figura 13 – Distorção do sinal na fibra multimodo índice degrau. . . . .	34
Figura 14 – Estrutura da fibra multimodo índice gradual. . . . .	34
Figura 15 – Distorção do sinal na fibra multimodo índice gradual. . . . .	34
Figura 16 – Estrutura da fibra monomodo. . . . .	35
Figura 17 – Distorção do sinal na fibra monomodo. . . . .	35
Figura 18 – Macrocurvaturas e microcurvaturas em fibras ópticas. . . . .	38
Figura 19 – Alargamento do pulso. . . . .	40
Figura 20 – Dispersão modal de polarização. . . . .	41
Figura 21 – Configuração ponto a ponto. . . . .	41
Figura 22 – Configuração ponto a multiponto . . . . .	42
Figura 23 – Arquiteturas FTTx. . . . .	43
Figura 24 – Redes AONs. . . . .	43
Figura 25 – Esquemático das redes PONs. . . . .	44
Figura 26 – Modelo de OLT. . . . .	48
Figura 27 – Distribuidor interno óptico. . . . .	48
Figura 28 – <i>Splitter</i> 1x8. . . . .	49
Figura 29 – Caixa de emenda óptica. . . . .	50
Figura 30 – Caixa de terminação óptica. . . . .	50
Figura 31 – Unidade de rede óptica (ONU). . . . .	51

Figura 32 – Cabo de fibra óptica. . . . .	51
Figura 33 – Máquina de emenda por fusão de fibra óptica. . . . .	54
Figura 34 – Conector SC/PC e SC/APC . . . . .	55
Figura 35 – Comparação entre os conectores SC/PC e SC/APC . . . . .	55
Figura 36 – Detalhe do polimento entre os conectores SC/PC e SC/APC. . . . .	56
Figura 37 – Área de cobertura do Projeto FTTH. . . . .	58
Figura 38 – Localização dos postes de Araquém. . . . .	62
Figura 39 – Disposição das células no projeto . . . . .	63
Figura 40 – Alocação geográfica das CTOs. . . . .	64
Figura 41 – Alocação geográfica das CEOs. . . . .	65
Figura 42 – Rota do cabo <i>Backbone</i> . . . . .	65
Figura 43 – Rota dos cabos de distribuição. . . . .	66
Figura 44 – Distância entre a OLT e a ONU do usuário mais afastado. . . . .	67
Figura 45 – Padrão de cores utilizados em fibras ópticas. . . . .	70
Figura 46 – Código de cores de <i>tubos loose</i> padrão ABNT e EIA598-A. . . . .	70

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Perdas nos <i>splitters</i> . . . . .	49
Tabela 2 – Nomenclatura dos cabos fibra ópticas externos. . . . .	53
Tabela 3 – Coeficientes de atenuação de alguns cabos ópticos . . . . .	53
Tabela 4 – Perdas nas emendas ópticas. . . . .	54
Tabela 5 – Perdas por par de conectores. . . . .	56
Tabela 6 – Quantitativo de elementos. . . . .	61

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
AON	<i>Active Optical Network</i>
APON	<i>Asynchronous Transfer Mode Passive Optical Network</i>
ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i>
BPON	<i>Broadband PON</i>
CEO	Caixa de Emenda Óptica
CO	<i>Central Office</i>
CTO	Caixa de Terminação Óptica
DIO	Distribuidor Interno Óptico
EPON	<i>Ethernet Passive Optical Network</i>
FO	Fibra Óptica
FSAN	<i>Full Service Access Network</i>
FTTB	<i>Fiber To The Building</i>
FTTC	<i>Fiber To The Curb</i>
FTTH	<i>Fiber To The Home</i>
FTTN	<i>Fiber To The Neighborhood</i>
FTTx	<i>Fiber To The x</i>
GPON	<i>Gigabit Passive Optical Network</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISP	<i>Internet Service Provider</i>
ITU-T	<i>International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector</i>
MDF	Multiplexação por Divisão de Frequência
NBR	Norma Brasileira
ODN	<i>Optical Distribution Network</i>
OLT	<i>Optical Line Terminal</i>
ONT	<i>Optical Network Terminal</i>

ONU	<i>Optical Network Unit</i>
PON	<i>Passive Optical Network</i>
PSO	<i>Particle Swarm Optimization</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
SC/APC	<i>Square Connector/Angled Physical Contact</i>
SC/PC	<i>Square Connector/Physical Contact</i>
STP	<i>Shielded Twisted Pair</i>
TDM	<i>Time Division Multiplexing</i>
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i>
UTP	<i>Unshielded Twisted Pair</i>
WDM	<i>Wavelength Division Multiplexing</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

$c$	Velocidade da luz no vácuo
$v$	Velocidade da luz no meio
$n$	Índice de refração
$\theta_i$	Ângulo de incidência
$\theta_R$	Ângulo de refração
$P_{in}$	Potência luminosa na entrada
$P_{out}$	Potência luminosa na saída
$P_{TX}$	Potência de transmissão, em dBm
$A_{FO}$	Atenuação total na fibra, em dBm
$P_C$	Perda total nos 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
$S_{RX}$	Sensibilidade do receptor, em dBm
$T_C$	Tamanho das células
$A_T$	Atenuação total

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO . . . . .</b>	<b>17</b>
<b>1.1</b>	<b>Motivação e Escopo da Monografia . . . . .</b>	<b>19</b>
<b>1.2</b>	<b>Estado da Arte . . . . .</b>	<b>19</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivos . . . . .</b>	<b>21</b>
<b>1.4</b>	<b>Estrutura do Trabalho . . . . .</b>	<b>21</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA . . . . .</b>	<b>23</b>
<b>2.1</b>	<b>Elementos Básicos da Rede de Telecomunicação . . . . .</b>	<b>23</b>
<b>2.2</b>	<b>Rede de Acesso . . . . .</b>	<b>24</b>
<b>2.2.1</b>	<b><i>Redes de Acesso sem Fio . . . . .</i></b>	<b>24</b>
<b>2.2.2</b>	<b><i>Redes de Acesso com Fio . . . . .</i></b>	<b>28</b>
<b>2.3</b>	<b>Fibra Óptica . . . . .</b>	<b>29</b>
<b>2.3.1</b>	<b><i>Propagação da Luz na Fibra Óptica . . . . .</i></b>	<b>30</b>
<b>2.3.2</b>	<b><i>Estrutura Básica da Fibra Óptica . . . . .</i></b>	<b>32</b>
<b>2.3.3</b>	<b><i>Tipos de Fibras . . . . .</i></b>	<b>33</b>
<b>2.3.3.1</b>	<b><i>Fibra Óptica Multimodo . . . . .</i></b>	<b>33</b>
<b>2.3.3.2</b>	<b><i>Fibra Óptica Monomodo . . . . .</i></b>	<b>34</b>
<b>2.3.4</b>	<b><i>Perdas em Fibras Ópticas . . . . .</i></b>	<b>36</b>
<b>2.3.4.1</b>	<b><i>Absorção . . . . .</i></b>	<b>36</b>
<b>2.3.4.2</b>	<b><i>Curvaturas . . . . .</i></b>	<b>37</b>
<b>2.3.4.3</b>	<b><i>Espalhamento . . . . .</i></b>	<b>38</b>
<b>2.3.4.4</b>	<b><i>Projeto do Guia de Onda . . . . .</i></b>	<b>39</b>
<b>2.3.5</b>	<b><i>Dispersão . . . . .</i></b>	<b>39</b>
<b>2.4</b>	<b>Tipos de Redes Ópticas . . . . .</b>	<b>41</b>
<b>2.4.1</b>	<b><i>Redes Ópticas Ativas . . . . .</i></b>	<b>42</b>
<b>2.4.2</b>	<b><i>Redes Ópticas Passivas . . . . .</i></b>	<b>44</b>
<b>2.4.2.1</b>	<b><i>APON – Rede Óptica Passiva em Modo de Transferência Assíncrona . . . . .</i></b>	<b>45</b>
<b>2.4.2.2</b>	<b><i>BPON – Rede Óptica Passiva Banda Larga . . . . .</i></b>	<b>45</b>
<b>2.4.2.3</b>	<b><i>EPON – Rede Óptica Passiva Ethernet . . . . .</i></b>	<b>46</b>
<b>2.4.2.4</b>	<b><i>GPON – Rede Óptica Passiva Gigabit . . . . .</i></b>	<b>46</b>
<b>2.5</b>	<b>Principais Componentes de Uma Rede PON . . . . .</b>	<b>47</b>

2.5.1	<i>OLT</i>	47
2.5.2	<i>DIO</i>	47
2.5.3	<i>Splitter</i>	48
2.5.4	<i>CEO</i>	49
2.5.5	<i>CTO</i>	49
2.5.6	<i>ONU</i>	50
2.5.7	<i>Cabos de Fibras Ópticas</i>	51
2.5.8	<i>Conectores</i>	54
3	<b>METODOLOGIA E ELABORAÇÃO DO PROJETO GPON FTTH.</b>	57
3.1	<b>Definições do Projeto</b>	57
3.1.1	<i>Área de Cobertura</i>	57
3.1.2	<i>Tamanho das Células</i>	58
3.1.3	<i>Número de CTOs</i>	59
3.1.4	<i>Número de CEOs</i>	59
3.1.5	<i>Orçamento de Potência</i>	60
3.2	<b>Resumo do Quantitativo de Elementos do Projeto</b>	61
3.3	<b>Procedimentos Práticos do Projeto</b>	61
3.3.1	<i>Coleta dos Postes</i>	62
3.3.2	<i>Definição das Células de Atendimento</i>	62
3.3.3	<i>Localização das CTOs</i>	63
3.3.4	<i>Localização das CEOs</i>	63
3.3.5	<i>Percurso do Cabo Backbone</i>	64
3.3.6	<i>Rede de Distribuição</i>	64
3.3.7	<i>Rede de Atendimento</i>	66
3.3.8	<i>Cálculo do Orçamento de Potência</i>	66
3.3.8.1	<i>Avaliação de Clientes Distantes - Ponto 1</i>	67
3.3.8.2	<i>Avaliação de Clientes Distantes - Ponto 2</i>	69
3.3.9	<i>Plano de Fusão</i>	69
4	<b>CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS</b>	71
	<b>REFERÊNCIAS</b>	72
	<b>APÊNDICE A – PLANO DE FUSÃO</b>	75

## 1 INTRODUÇÃO

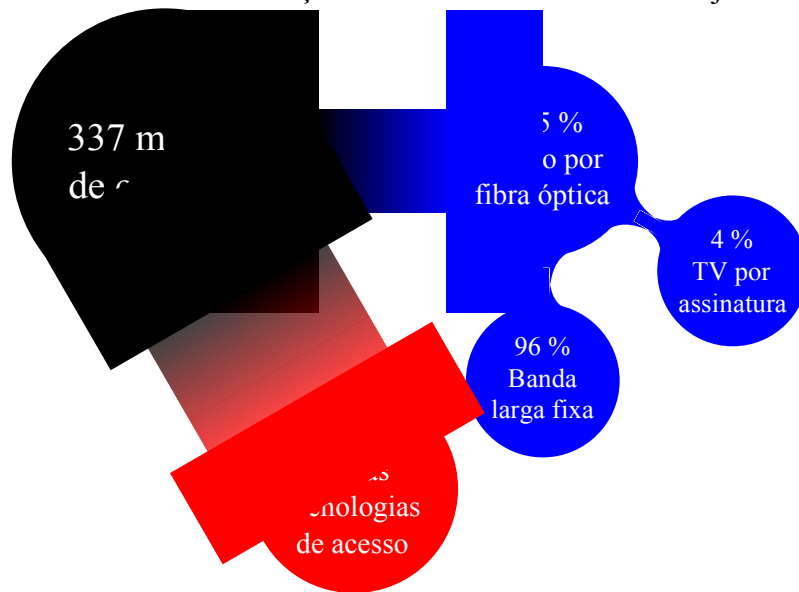
A demanda por conectividade de alta velocidade e confiabilidade nunca foi tão significativa quanto nos dias de hoje. A crescente dependência da internet para atividades cotidianas, como trabalho, educação, entretenimento e comunicação, tornou as redes de telecomunicações um pilar essencial da sociedade moderna. Nesse contexto, o acesso à internet de alta qualidade é mais do que uma comodidade; é uma necessidade que impulsiona o desenvolvimento tecnológico e a inclusão digital.

O Brasil, como muitos outros países, tem testemunhado uma revolução na indústria de telecomunicações. A busca por soluções eficazes para atender às crescentes demandas de conectividade levou a avanços significativos na infraestrutura de redes. Entre esses avanços, destacam-se as redes *Gigabit Passive Optical Network* (GPON) e a arquitetura *Fiber To The Home* (FTTH), que desempenham um papel fundamental na entrega de serviços de alta velocidade e na expansão da banda larga. Essa tecnologia representa uma das abordagens mais promissoras para atender à crescente demanda por conectividade de alta velocidade, confiabilidade e qualidade. Ela se baseia na fibra óptica, que é conhecida por sua capacidade de transmitir grandes volumes de dados em altas velocidades e com baixa latência. No entanto, a implementação bem-sucedida de uma rede GPON FTTH envolve uma série de desafios e considerações, desde a concepção até a implantação prática.

É relevante destacar dados recentes fornecidos pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) até julho de 2023 como ilustrado na Figura 1. Esses dados indicam que, dos mais de 337 milhões de contratos de telecomunicações estabelecidos no Brasil, aproximadamente 10,5% estão relacionados à tecnologia de fibra óptica. Dessa parcela, cerca de 96% está vinculada à banda larga fixa, demonstrando a crescente adoção da fibra óptica como uma solução de conectividade confiável e de alta velocidade (ANATEL, 2023). Essa tendência é corroborada pelo aumento na demanda dos consumidores por serviços que exigem largura de banda significativa, como *streaming* de vídeo em alta definição, jogos online, telemedicina e trabalho remoto. As redes GPON FTTH, que oferecem uma ampla capacidade de transmissão e taxas de transferência de dados impressionantes, estão bem posicionadas para atender a essas necessidades em constante evolução.

A pandemia de COVID-19 destacou ainda mais a importância das infraestruturas de telecomunicações robustas e de alta velocidade. Com muitas atividades migrando para o ambiente online, desde reuniões de negócios até educação e entretenimento, a confiabilidade e

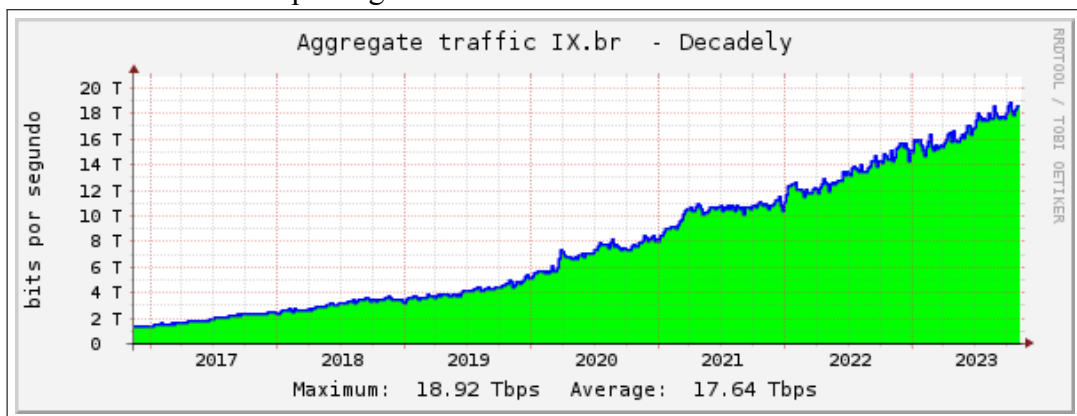
Figura 1 – Contratos de telecomunicações estabelecidos no Brasil em julho de 2023.



Fonte: ANATEL (2023).

o desempenho das redes de banda larga se tornaram essenciais para a continuidade de muitos aspectos da vida cotidiana. O gráfico da Figura 2 demonstra como ocorreu um grande aumento na quantidade de *bits* por segundo nos últimos 7 anos, e nos anos de pandemia esse crescimento se tornou ainda mais evidente, devido a dependência da internet para atividades em que anteriormente a mesma não era tão dependente.

Figura 2 – Gráfico de *bits* por segundo dos últimos 7 anos no Brasil.



Fonte: IX.br (2023).

À medida que a tecnologia GPON FTTH continua a ganhar terreno, a capacidade de fornecer uma conexão estável e de alta qualidade a usuários residenciais e comerciais em todo o país se torna uma prioridade para operadoras de telecomunicações e prestadores de serviços de internet. As oportunidades e os desafios associados a essa tecnologia são inúmeros, e este projeto visa explorar, com detalhes, como implementar e otimizar efetivamente as redes GPON FTTH.

Dentre os aspectos fundamentais abordados neste trabalho estão a área de cobertura da rede, o dimensionamento das células de atendimento, a alocação estratégica de Caixa de Terminação Ópticas (CTOs) e Caixa de Emenda Ópticas (CEOs), o cálculo do orçamento de potência e os procedimentos práticos de implementação. Cada um desses elementos desempenha um papel vital na criação de uma rede confiável, eficiente e de alta velocidade, capaz de atender às necessidades de conectividade da sociedade atual.

## 1.1 Motivação e Escopo da Monografia

A motivação para a realização deste trabalho surge da crescente importância das redes GPON no contexto das telecomunicações modernas, especialmente no cenário brasileiro. À medida que a demanda por conectividade de alta velocidade e qualidade continua a aumentar, é crucial explorar e compreender como essa tecnologia inovadora que pode ser empregada para atender às necessidades dos usuários residenciais e comerciais.

A busca por soluções de banda larga mais eficazes e confiáveis está intrinsecamente ligada ao desenvolvimento tecnológico e à inclusão digital. O acesso à internet tornou-se uma necessidade em várias áreas da vida cotidiana, desde o trabalho e a educação até o entretenimento e a comunicação. Portanto, aprofundar o conhecimento sobre as redes GPON FTTH é essencial para aprimorar as infraestruturas de telecomunicações no Brasil.

Neste cenário, o escopo deste trabalho abrange a exploração da tecnologia GPON FTTH e seu impacto nas redes de telecomunicações. Neste trabalho, são analisados componentes-chave, como *Optical Line Terminals* (OLTs), *Optical Network Units* (ONUs), CTOs, CEOs e procedimentos práticos necessários para projetar e implementar com êxito uma rede GPON FTTH. Além disso, considerações críticas, como o cálculo do orçamento de potência. Através desta monografia, procuramos fornecer informações valiosas para estudantes das áreas de telecomunicações e todos os interessados em compreender as redes GPON FTTH.

## 1.2 Estado da Arte

As redes GPON FTTH, apesar de não ser uma tecnologia muito recente ganhou grande taxa de adesão nos últimos anos, devido a dependência cada vez maior que o ser humano tem de estar conectado, seja para atividades de trabalho, como entretenimento. Com isso existem diversos estudos envolvendo esse tipo de rede, nesta seção será destacado alguns trabalhos

relacionados que foram desenvolvidos antes deste.

Silva (2012) abordou sobre os principais protocolos *Passive Optical Network* (PON), focalizando nas redes GPON que era o objetivo do trabalho. Tratou do planejamento da rede, através de requisitos da rede, apresentou algumas etapas do projeto, mas não detalhou cálculos. O seu trabalho teve como alvo principal a configuração dos equipamentos da rede GPON, como OLT, *Optical Network Terminal* (ONT) e roteador da operadora, bem como também os testes com os serviços *triple play* da rede.

Segundo Albuquerque (2018), que denotou sobre modelagem da onda eletromagnética, aspectos sobre fibra óptica e componentes GPON, em seu projeto de rede GPON FTTH, este faz uma abordagem do local de implementação e realiza todo o dimensionamento da rede, como a quantidade de cada elemento necessário, no entanto este não desenvolve uma análise sobre o orçamento de potência do projeto. O projeto realizado pelo Araújo (2019) utilizou-se de artifícios bem semelhantes ao autor anterior.

A monografia de Soares (2020) discorreu sobre princípios e propriedades da fibra óptica, como ângulo crítico, atenuações e tipos de perdas. Além disso, dissertou sobre o funcionamento de redes PONs e sua arquitetura básica, definições usadas em projeto GPON FTTH, como taxa de penetração e orçamento de potência. Na fase do projeto adotou dois tipos de projetos PON, sendo um com *splitters* balanceados e o outro com *splitters* desbalanceados, no entanto não apresentou o cálculo da quantidade de elementos do projeto. Por fim, produziu um estudo sobre custos para análise de viabilidade econômica.

O trabalho de Aguiar (2022) objetiva desenvolver uma rede GPON FTTH utilizando uma meta-heurística *Particle Swarm Optimization* (PSO). Apresenta sobre os princípios e estrutura básica das comunicações ópticas, depois dos tipos e padrões de redes PONs, como também dos seus componentes. Na fase de projeto coletou todos os dados sobre a região a ser implementado o projeto e depois esses dados são inserido no software em que irá otimizar o projeto através de uma modelagem. Em seguida utiliza-se técnicas distintas e faz-se o comparativo de desempenho com relação a custos de implementação do projeto.

Este trabalho buscar avaliar o projeto elaborado através do orçamento de potência, na qual consiste um fator determinante para que a rede opere de forma satisfatória. Na qual se avalia pontos importantes do projeto sobre o qual é aplicado o orçamento de potência, a fim de verificar se a rede projetada está apta a transmitir os sinais de forma concisa a seus futuros clientes, e assim tornar o projeto implementável.

Não obstante, sabe-se que a rede projetada objetiva atender clientes e ela requer investimento para ser construída, tendo isso em mente, a criação de planos de acesso com sua respectiva precificação é um ponto importante a se considerar em projeto, pois é, através destes, que o sistema implementado se torna rentável e possa conseqüentemente se expandir. Logo este é uma notória vertente que pode ser trabalhada em projetos futuros.

### 1.3 Objetivos

A monografia possui objetivo geral de compreender a arquitetura e os procedimentos práticos de implementação das redes GPON FTTH e suas implicações na melhoria da conectividade de banda larga, ao mesmo tempo aprofundando o conhecimento sobre os princípios físicos da fibra óptica. Diante do objetivo geral, foi proposto os seguintes objetivos específicos:

- Investigar os componentes essenciais das redes GPON FTTH, incluindo OLTs, ONUs, CTOs e CEOs, e compreender seus papéis na infraestrutura da rede;
- Analisar os procedimentos práticos necessários para projetar e implementar uma rede GPON FTTH, abrangendo tópicos como a coleta de dados geográficos, o dimensionamento das células de atendimento, a alocação de CTOs e CEOs, o percurso do cabo de *backbone* e o cálculo do orçamento de potência.

### 1.4 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está organizado em quatro capítulos, incluindo a introdução. A seguir, são apresentadas as sinopses dos três capítulos subsequentes:

- **Capítulo 2: Fundamentação Teórica** - Este capítulo aborda os principais conceitos relacionados ao trabalho, incluindo elementos fundamentais da rede de telecomunicações, tipos de redes de acesso, características da fibra óptica, diversidade de fibras, perdas em fibras ópticas e fenômenos de dispersão. Também se discutem os diversos tipos de redes ópticas, com ênfase nas redes ópticas passivas;
- **Capítulo 3: Metodologia e Elaboração do Projeto GPON FTTH** - Este capítulo descreve a metodologia empregada na elaboração do projeto de uma rede GPON FTTH. A metodologia inclui a definição da área de cobertura, a estimativa das dimensões das células de atendimento, a distribuição de CTOs e CEOs, o traçado do cabo de *backbone*, a implementação da rede de distribuição e da rede de atendimento. Também são detalhados

os cálculos relacionados ao orçamento de potência e a avaliação de clientes em pontos remotos de interesse. É abordada a coleta de dados geográficos e a utilização da ferramenta *Google Earth* na execução prática do projeto;

- **Capítulo 4: Conclusão** - Neste capítulo, são apresentadas as principais conclusões decorrentes do trabalho. São fornecidas considerações finais sobre a relevância da tecnologia GPON FTTH e seus impactos na melhoria da conectividade.

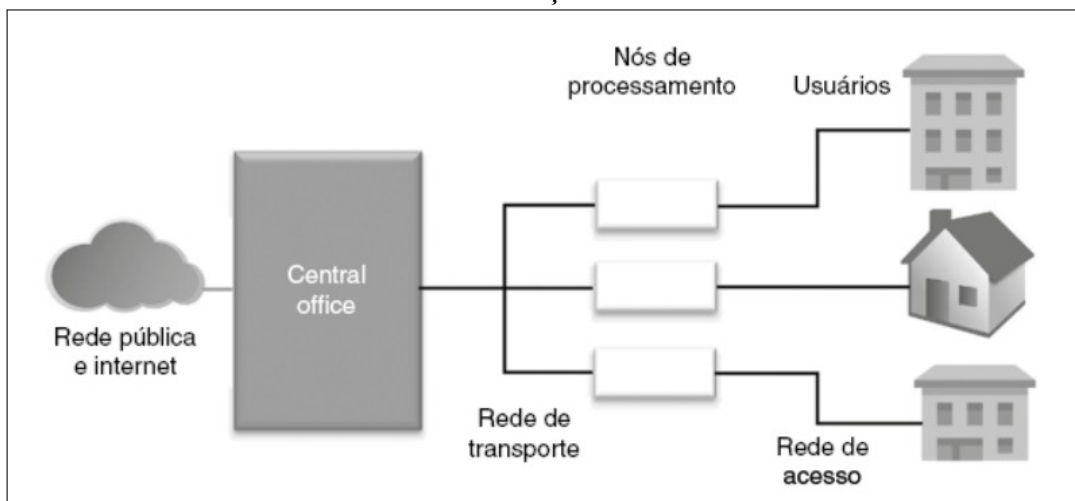
## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O propósito deste capítulo é fornecer uma base sólida de conceitos essenciais necessários para o desenvolvimento do projeto. Na seção 2.1, serão detalhados os elementos fundamentais de uma rede de telecomunicações. Posteriormente, será explorado as diversas tecnologias de acesso, tanto sem fio quanto com fio na seção 2.2. Na seção 2.3 consistirá sobre os aspectos da fibra óptica. Já a seção 2.4 fará uma síntese sobre os tipos de redes ópticas, dando importância a redes ópticas passivas. E por fim a seção 2.5, na qual nesta é abordado os principais componentes de uma rede óptica passiva.

### 2.1 Elementos Básicos da Rede de Telecomunicação

Sabe-se que, ao longo dos anos, desde a criação do telefone, o modo de comunicação evoluiu bastante, bem como seus meios de transmissão e protocolos. Hoje as redes de comunicações são compostas por diversos equipamentos interligados, onde estes possuem diferentes tecnologias e arquiteturas. Logo assim, as redes de telecomunicações possuem três níveis: nó ou nó de processamento/núcleo, transporte e acesso (PINHEIRO, 2017), como é visto Figura 3.

Figura 3 – Elementos básicos de telecomunicações.



Fonte: Pinheiro (2017).

O nó de processamento é responsável pelo tratamento das informações que estão sendo transmitidas pelos usuários, bem como também sendo recebidas por estes, funciona como um local que concentra todas as informações que os usuários estão transmitindo e que também separa a informação a ser recebida por cada usuário (PINHEIRO, 2017).

Já a rede de transporte é o meio que faz a interligação entre os nós de processamento

e que também interliga os nós ao escritório central e conseqüentemente com a Internet. Esse meio de conexão pode ser de tipos diferenciados, como: sistemas sem fio, fibra óptica, cabos de cobre (cabos de pares ou cabo coaxial) ou ainda a combinação desses meios.

A rede de acesso é responsável por interligar os usuários aos nós de processamento, representa também a separação entre a rede do provedor e a rede do usuário. Esta interligação pode ser da forma passiva, que tem só o objetivo de conexão do usuário com a rede, ou ainda pode ser ativa com a função de conversão de sinais e protocolos, além da conexão do usuário.

## **2.2 Rede de Acesso**

A rede de acesso tem como função conectar os usuários ao restante de todo o sistema de comunicação, e assim fazendo com que o mesmo tenha acesso aos serviços disponíveis, como conexão com a Internet, e através dela serviços de dados, voz e vídeo. Em outras palavras, ela conecta o usuário aos diversos serviços e aplicações que este acessar (PINHEIRO, 2017).

A mesma, como dito anteriormente, é a parte final de toda a rede que tem como finalidade interligar o usuário a infraestrutura do *Internet Service Provider* (ISP) ou último nó de processamento. Para esse propósito, a rede conta com pontos de convergência que visam concentrar as informações dos usuários através de processos e protocolos. A rede de acesso propriamente dita envolve os elementos e tecnologias que irão fazer a conexão dos assinantes com o provedor de serviços. Quando se leva em consideração o meio de transmissão, as rede de acesso podem ser divididas em:

- Rede de acesso com fio;
- Rede de acesso sem fio;
- Rede de acesso mista.

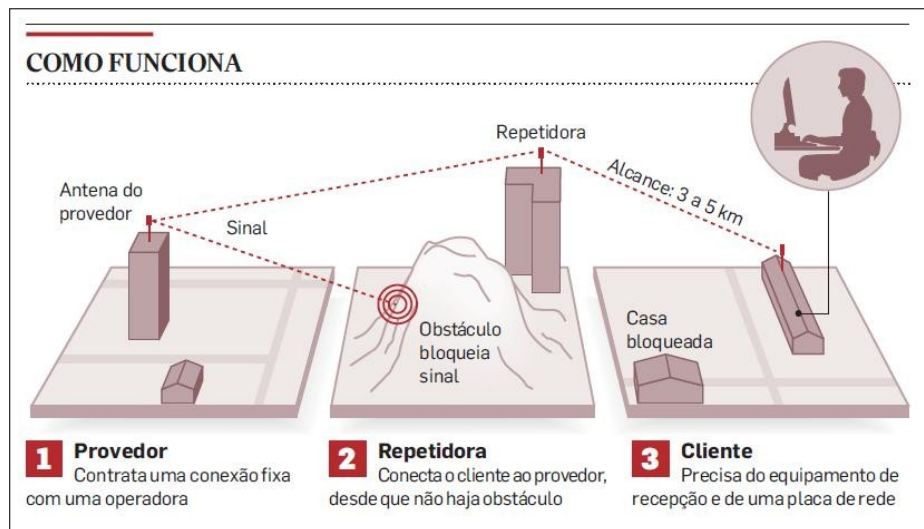
A escolha do meio de transmissão mais adequado dependerá de características naturais ou artificiais presentes na localidade de instalação, custos de implementação ou qualidade de serviço aceitável ao usuário final.

### **2.2.1 Redes de Acesso sem Fio**

A rede de acesso sem fio ocorre quando a conexão do usuário com a rede é realizada sem cabos. Existem várias formas que permitem a conexão sem fio, como via rádio, satélite e celular. Adiante será tratado sobre cada uma delas.

A conexão via rádio se dá através da instalação de várias torres em pontos de relativa elevada altitude de uma região que se pretende atender, na qual essas torres transmitem um sinal, através de ondas eletromagnéticas até um antena receptora, que fica localizada na residência ou edifício do cliente. A antena no ponto de recepção do sinal é conectada a um modem que é o responsável por transformar o sinal recebido, e o transmite para placa de rede de um computador, e este possuirá acesso a Internet. Na Figura 4 tem-se a representação de como funciona a Internet via rádio.

Figura 4 – Como funciona internet via rádio.



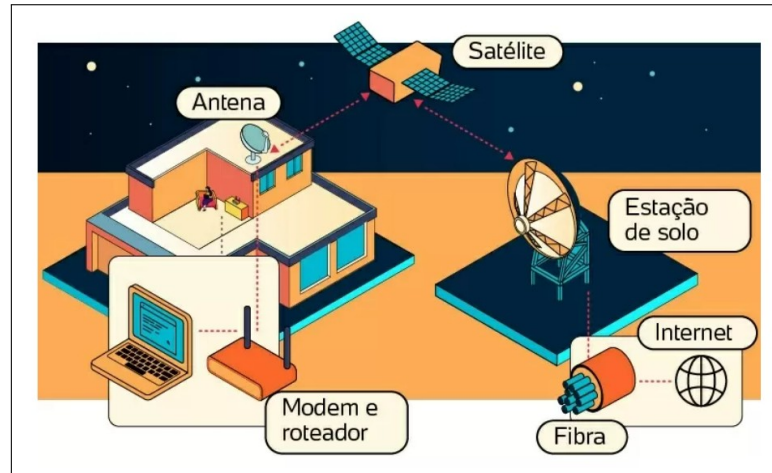
Fonte: Net (2016).

As vantagens dessa tecnologia é que permite o acesso a Internet em locais de difícil acesso, como em áreas rurais, e também possibilita grandes áreas de cobertura, possui fácil instalação e manutenção devido a quase não existência de cabeamento. Já as desvantagens, a principal é que esta tecnologia é muito suscetível a interferências, baixa velocidade de transmissão de dados quando comparada com outras formas de acesso, como uma torre é responsável por uma determinada área de cobertura, então isso pode causar sobrecarga da rede e alta latência para serviços que dependem-lhe (ARAÚJO, 2019).

Agora a internet via satélite, que funciona usando o princípio da triangulação entre satélites geoestacionários (no espaço) e receptores (na Terra) (PINHEIRO, 2017). Na qual, o sinal de internet é enviado via fibra óptica a uma grande antena que fica no solo, em que esta converte-o em sinal de ondas de rádio, e assim são transmitidas até o satélite. Em seguida este envia para a antena receptora, que fica localizada na residência do cliente, e que está apontada para o satélite em questão. Após isso, o princípio é o mesmo da via rádio, em que o sinal da

antena é enviado para um modem e faz o mesmo processo. A Figura 5 mostra o funcionamento da internet via satélite.

Figura 5 – Como funciona internet via satélite.



Fonte: Duarte (2023).

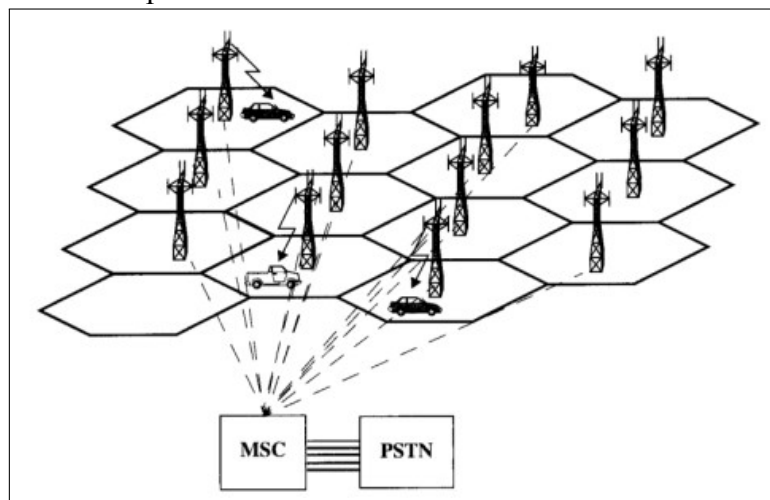
Como esta tecnologia é semelhante a via rádio, as vantagens e desvantagens serão bem semelhantes também. As vantagens da internet via satélite é que ela possibilita o acesso a áreas que não possuem estruturas físicas de acesso a rede de telecomunicações, como áreas rurais e montanhosas, baixo custo de manutenção. Por outro lado, como esta tecnologia faz uso de satélite, o uso deste torna o serviço mais caro, pois é preciso alocação de transponders nos satélites. Outra desvantagem é a devido a distância que o satélite está das antenas a qual ele interliga, visto que isso gera uma alta latência (atraso entre a mensagem ser enviada até o destinatário dela) quando comparada com outros meios. Além disso, existem os efeitos das interferências, como as chuvas, que podem dificultar ou mesmo tornar este serviço indisponível temporariamente (PINHEIRO, 2017).

A seguir, consideremos a tecnologia de telefonia móvel, que opera através do uso de radiofrequência e emprega um sistema inteligente de alocação e reuso de canais em uma área de cobertura específica. Esse sistema utiliza uma faixa de frequência designada para uma determinada região e associa um conjunto de canais a essa faixa, que é comumente referido como uma "célula". Dentro de cada célula, uma estação rádio base é implantada para atender um número predeterminado de usuários com a faixa de frequência designada. Quando nos deslocamos para áreas adjacentes ou próximas, o mesmo processo de alocação de canais e faixas de frequência é repetido, a fim de evitar interferências e garantir a qualidade do serviço. Esse procedimento é replicado até que toda a faixa de frequência específica seja utilizada de forma

eficaz e eficiente, assegurando a comunicação contínua e sem interferências em uma região ampla (MUNIZ, 2010).

Em cada célula é alocada uma certa quantidade de canais, ou seja, cada estação radio base é responsável por uma quantidade de canais. Quando se usa toda a faixa de frequência, logo se tem todos os canais. Quando tem-se grandes distâncias, se torna possível reutilizar os canais usados em uma célula, logo o mesmo conjunto de células utilizado em uma determinada área de cobertura pode ser reutilizado em uma outra área relativamente distante. Um ponto importante dessa tecnologia é que, quando um usuário sai de um célula para outra, o serviço continua funcionando, pois esta usa um processo chamado *handoff*, de modo que o serviço tenha o máximo de continuidade possível. Na Figura 6 tem-se a arquitetura simplificada de uma rede de telefonia móvel.

Figura 6 – Arquitetura simplificada de uma rede móvel.



Fonte: Castro (2017).

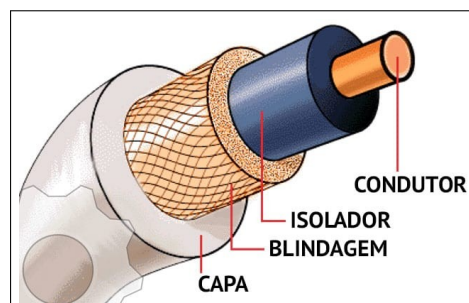
As desvantagens inerentes a essa tecnologia se manifestam quando as células que compartilham os mesmos canais não estão adequadamente espaçadas, resultando em interferência co-canal. Além disso, a largura de banda disponível permanece relativamente limitada quando comparada a alternativas baseadas em meios físicos. Por outro lado, as vantagens dessa abordagem são notáveis. A principal delas é a capacidade de manter a conectividade do usuário, mesmo quando ele se desloca a distâncias consideráveis. Além disso, essa tecnologia oferece velocidades de download e upload significativamente mais altas em comparação com outros meios de comunicação sem fio.

### 2.2.2 Redes de Acesso com Fio

Como o próprio nome já sugere as redes de acesso com fio, são aquelas nas quais todos os seus elementos são interligados por meios cabeados/físicos, como cabo coaxial, cabo par traçado e fibra óptica. Adiante será abordado cada um deles.

Inventado pelo engenheiro e matemático inglês Oliver Heaviside em 1880, o cabo coaxial é constituído por uma série de camadas concêntricas de condutores e isolantes, daí a explicação para o nome em que ficou conhecido. O mesmo é formado por uma parte central, onde está o condutor de cobre, que pode ser um fio ou vários fios entrelaçados, que possui a função de transportar os dados. Ao redor deste, tem-se um revestimento isolante que é composto de um material dielétrico, que possui a finalidade de isolar o condutor da blindagem. Em seguida, há a blindagem metálica entrelaçada, que tem como função reduzir o efeitos de sinais externos sobre o sinais a que se quer transmitir, ou seja, evitando efeitos de interferências eletromagnéticas externas. E por fim contém uma camada plástica que engloba todas as outras, a fim de proteger as camadas internas do ambiente externo. Na Figura 7 é apresentada a composição do cabo coaxial.

Figura 7 – Composição do cabo coaxial.



Fonte: Pozzebom (2013).

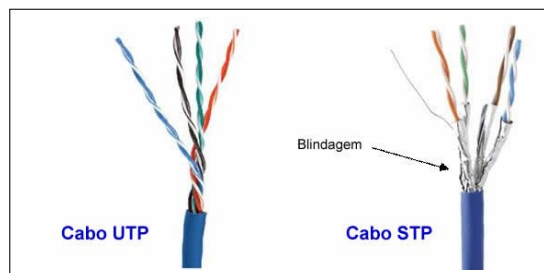
Este tipo de cabo foi amplamente utilizado por determinado período, pois permitia o compartilhamento de serviços em um mesmo cabo, como TV a cabo e Internet. Isso era possível pois os dados dos canais de TV, e os das informações de *downlink* e *uplink* da Internet eram separados em frequências diferentes, através de uma técnica chamada Multiplexação por Divisão de Frequência (MDF) (ARAÚJO, 2019).

As vantagens do cabo coaxial são a proteção contra interferências eletromagnéticas, e no caso de o cliente precisar tanto de serviços de TV como de Internet, o cabo coaxial se torna uma boa opção, e o mesmo possui boa velocidade de *upload* e altas taxas de *download*. No entanto este possui muitas desvantagens, como instalação difícil, pois como o cabo é rígido, ele

está mais propenso a quebra quando se necessita fazer curvas acentuadas. Também, esta é uma conexão que depende da largura de banda, logo quando se tem muitas pessoas conectadas em um mesmo nó isso acarreta redução na velocidade de transmissão. Em razão de suas desvantagens, este foi sendo substituído pelo cabo par trançado.

O cabo par trançado surgiu em resposta as limitações do cabo coaxial. Este é formado por pares de fios, podendo ser um ou mais pares, que são entrelaçados de maneira helicoidal, a fim de, através do efeito de cancelamento reduzir o ruído e interferências. Em um par de fios, em um fio passa o sinal a ser enviado, já o outro funciona como uma referência para o sinal, assim o receptor vai perceber a diferença de potencial entre os fios e determinar a amplitude do sinal. Existem dois tipos de cabo par trançado, os que possuem uma blindagem especial de proteção contra interferências, os *Shielded Twisted Pair* (STP), e aqueles que não a possuem, os *Unshielded Twisted Pair* (UTP).

Figura 8 – Cabo UTP e STP.



Fonte: Bertin (2016).

Por se tratar de um cabo leve e flexível, sua instalação é mais fácil, possuem custo menor, e alta taxa de transmissão, podendo chegar a 100 Mbps, dependendo da distância que o sinal irá percorrer e da espessura do fio. Porém, este deve possuir um comprimento máximo de 100 metros entre os pontos interligados, uma vez que, a partir disso ocorrerá atenuação significativa do sinal. Além disso, como os cabos par trançado UTP não dispõem de blindagem, estes estão vulneráveis a interferências externas, como radiofrequências. Na seção seguinte será sobre a fibra óptica, que é o meio em que este trabalho aborda mais profundamente.

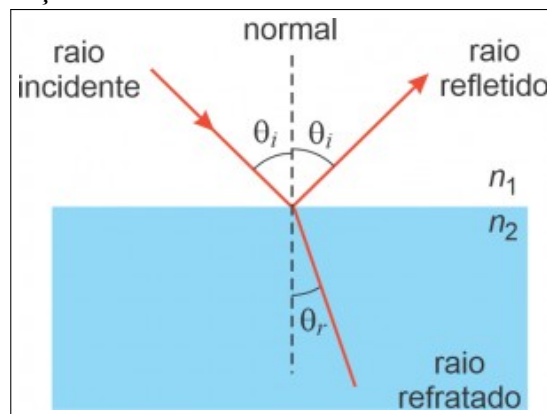
### 2.3 Fibra Óptica

Conforme já se sabe, em cabo de fibra óptica não passa um sinal elétrico transportando as informações, mas sim luz que é guiada pela fibra de um ponto a outro. Assim, é importante entender algumas propriedades que a luz apresenta.

### 2.3.1 Propagação da Luz na Fibra Óptica

A luz possui dois comportamentos diferentes, ora como partícula que se movem a altas velocidades ora como onda eletromagnética. Em ambas situações ela se propaga em linha reta em um meio que seja uniforme. Entretanto, se esta se depara com outro meio de densidade diferente, ocorrem dois fenômenos, reflexão e refração, que são responsáveis por mudar a direção de propagação da luz, a fazendo irradiar-se em duas direções distintas. Na qual a reflexão faz a luz voltar ao meio de origem e a refração faz a onda se propagar no novo meio. A fibra óptica tem seu princípio de funcionamento baseado nesses dois fenômenos. A Figura 9 mostra os dois fenômenos em questão (ARAÚJO, 2019; PINHEIRO, 2017).

Figura 9 – Reflexão e refração da luz.



Fonte: Alves (s.d.).

A reflexão da luz ocorre quando esta incide em uma superfície, lisa ou rugosa, e ela é refletida, ou seja, volta ao meio de origem. Esta reflexão pode acontecer de duas formas, a primeira é a reflexão regular, quando os raios incidem em uma superfície totalmente lisa e estes são refletidos na mesma direção e paralelos entre si, e a segunda é a reflexão difusa, quando a incidência dos raios de luz ocorre em uma superfície irregular ou rugosa e esses são refletidos em direções distintas.

A refração ocorre quando um feixe de luz que trafega em um meio, por exemplo o ar, transpassa para outro meio diferente, tal como a água, como ocorre na Figura 9. A parte da luz que não é refletida será refratada e sofre o efeito dessa, que é a mudança de velocidade que a luz será submetida com a mudança do meio. Utiliza-se o índice de refração como forma indireta de medição da velocidade de propagação da luz em um meio. Tratando-se de um meio isotrópico e

homogêneo, o índice de refração pode ser definido como:

$$n = \frac{c}{v}, \quad (2.1)$$

onde  $c$  é a velocidade da luz no vácuo e  $v$  é a velocidade da luz no meio em questão.

Conhecida também como uma das leis da refração, a Lei de Snell relaciona os ângulos de incidência ( $\theta_i$ ) e refração ( $\theta_r$ ) com os índices de refração dos meios envolvidos,  $n_1$  e  $n_2$ , respectivamente, conforme é visto na Figura 9. Esta lei afirma que o produto do seno do ângulo formado pelo raio luminoso e a reta normal, e o índice de refração do meio em que este ângulo é formado é uma constante, como pode ser observado na Equação 2.2:

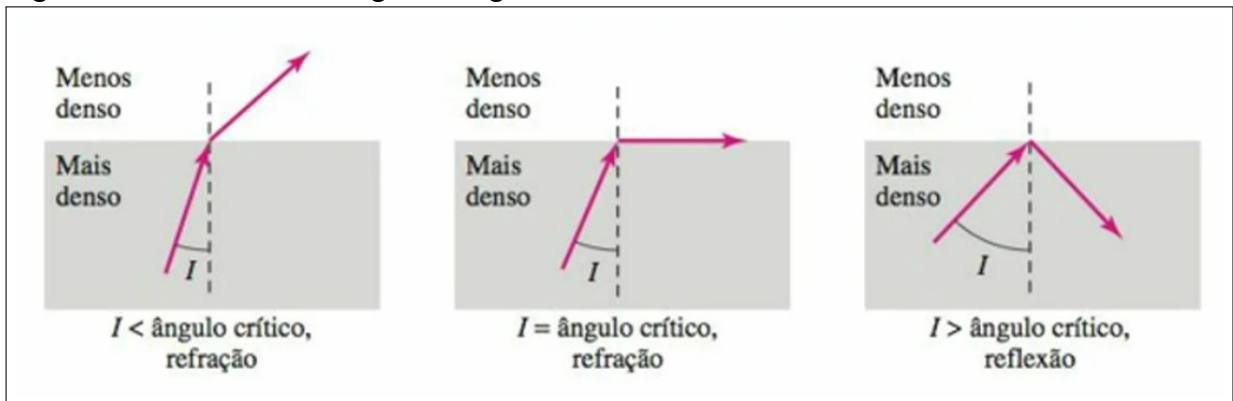
$$n_1 \times \sin(\theta_i) = n_2 \times \sin(\theta_r). \quad (2.2)$$

Logo é possível concluir que, quando o raio de luz passa de um meio menos refringente para um meio mais refringente, o raio refratado se aproximará da reta normal, em caso contrário, o raio refratado se afastará da reta normal. Através disso e da Equação 2.2 pode-se perceber que variando o ângulo de incidência de forma desejável é possível extinguir o raio refratado, nesta situação o ângulo de incidência passa a ser denominado ângulo crítico e que pode ser calculado pela Lei de Snell. Atenta-se que o ângulo crítico é uma propriedade do meio físico, logo este valor difere conforme o meio em estudo (FOROUZAN, 2010).

De acordo com a Figura 10, quando um feixe luminoso passa de um meio mais denso para um meio menos denso, segundo o ângulo incidente ( $I$ ) verifica-se três condições. A primeira é quando este é menor que o ângulo crítico, na qual percebe-se que ocorre a refração normal. A segunda ocorre para quando o ângulo  $I$  é igual ao ângulo crítico, no qual ainda ocorre refração, mas essa é paralela ao limiar entre os meios. Já a terceira é quando o ângulo incidente é maior que o crítico, logo não há refração, há somente reflexão total do raio luminoso para o meio de origem, que neste caso é o mais denso (FOROUZAN, 2010).

Nesse sentido, quando a luz é refletida através de uma interface com um meio que possui índice de refração maior, essa reflexão é chamada reflexão externa. Já quando a luz é refletida mediante uma interface com um meio de índice de refração menor, essa reflexão recebe o nome de reflexão interna total. Este último é o princípio de operação da fibra óptica e que assegura que o sinal luminoso chegará ao receptor.

Figura 10 – Desvio da luz segundo ângulo de incidência.

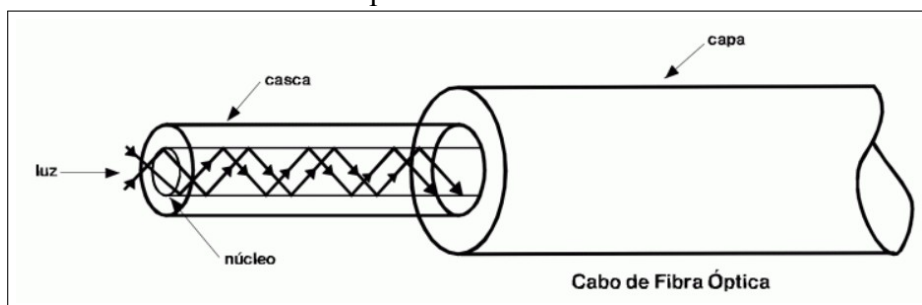


Fonte: Forouzan (2010).

### 2.3.2 Estrutura Básica da Fibra Óptica

A fibra óptica é constituída por um filamento de material dielétrico, geralmente sílica ou plástico, em formato cilíndrico, que possui dimensões microscópicas, semelhante a do fio de cabelo, e sua estrutura básica é composta de um núcleo na região central, onde este é envolvido por uma camada, também de material dielétrico, chamada casca, que possui índice de refração ligeiramente menor que o do núcleo. No entanto, quando se fala em cabo de fibra óptica existem revestimentos e encapsulamentos para proteção mecânica e ambiental, além do filamento descrito previamente, onde pode conter uma ou mais fibras no mesmo cabo. Na Figura 11 é apresentada a estrutura básica da fibra óptica.

Figura 11 – Estrutura básica da fibra óptica.



Fonte: TRANSCORTEC (s.d.).

É possível perceber, na Figura 11, que a luz fica confinada dentro do filamento. Isso se deve a reflexão interna total que a mesma sofre, devido a casca possuir índice de refração levemente inferior ao núcleo. A luz que trafega a fibra óptica pode se propagar de diferentes modos dentro da mesma, através de diferentes caminhos ou trajetos. Os modos como a luz percorre a fibra óptica depende de aspectos físicos do material dielétrico que a fibra é composta (ARAÚJO, 2019).

### 2.3.3 Tipos de Fibras

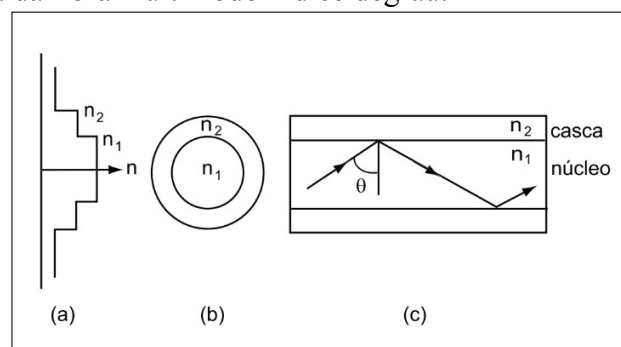
Tal como visto previamente, o modo como a luz percorre a fibra, depende de aspectos construtivos de quando a mesma está sendo fabricada, do tipo de material e ainda do perfil de índice de refração, uma variação em algum desses fatores faz com que a luz se propague de maneira diferente no núcleo. Embora existam várias formas de trajetórias para a luz na fibra, as tecnologias atualmente existentes só suportam dois modos de propagação que são: **monomodo** e **multimodo**.

#### 2.3.3.1 Fibra Óptica Multimodo

Na fibra multimodo vários feixes de luz são emitidos pela fonte, onde os quais se propagam de diferentes trajetórias pelo núcleo. Nesta o diâmetro do núcleo pode variar de 50 à 200  $\mu\text{m}$ , mas possuindo valores típicos de 50  $\mu\text{m}$  e 62,5  $\mu\text{m}$ . Segundo a variação do índice de refração do núcleo as fibras multimodos podem ser classificadas em fibra de índice degrau ou de índice gradual (PINHEIRO, 2017).

No caso da fibra multimodo de índice degrau, o núcleo possui um índice de refração constante e a casca possui um índice de refração constante, mas levemente inferior ao do núcleo, como é possível perceber na Figura 12. O termo *degrau* no nome da fibra multimodo se dá por causa dessa mudança abrupta no índice de refração.

Figura 12 – Estrutura da fibra multimodo índice degrau.

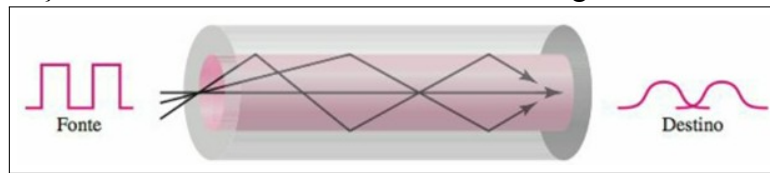


Fonte: Amazonas (2005).

Essa mudança súbita que ocorre na interface núcleo-casca gera distorção do sinal a medida que este percorre a fibra, tal qual é mostrado na Figura 13.

Na fibra multimodo de índice gradual o índice de refração varia gradualmente ao longo do núcleo, a isso se deve o nome índice gradual. Esta tem uma fabricação mais complexa, pois o núcleo é formado de várias camadas de vidros que possuem índices de refrações

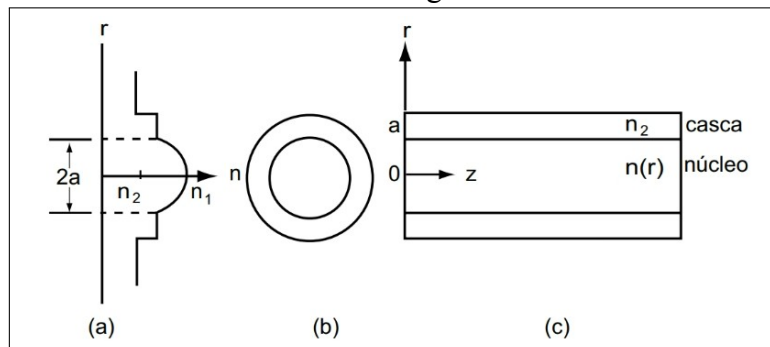
Figura 13 – Distorção do sinal na fibra multimodo índice degrau.



Fonte: Forouzan (2010).

infinitesimais diferentes para que permita esse efeito gradual no índice de refração como na Figura 14 (PINHEIRO, 2017).

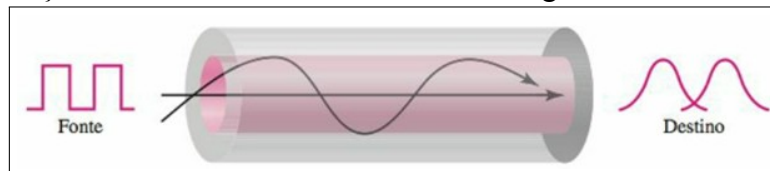
Figura 14 – Estrutura da fibra multimodo índice gradual.



Fonte: Amazonas (2005).

Comparando com as fibras de índice degrau, estas possuem uma maior capacidade de transmissão e maior largura de banda passante, bem como também apresentam dimensões menores, o que facilita conexões e acoplamentos com os equipamentos, além de também de diminuir a distorção do sinal a medida que este percorre a fibra, tal qual é mostrado na Figura 15 (FOROUZAN, 2010). A principal desvantagem da fibra multimodo é que estas não permitem transmissões em longas distâncias por causa das perdas por distorção.

Figura 15 – Distorção do sinal na fibra multimodo índice gradual.



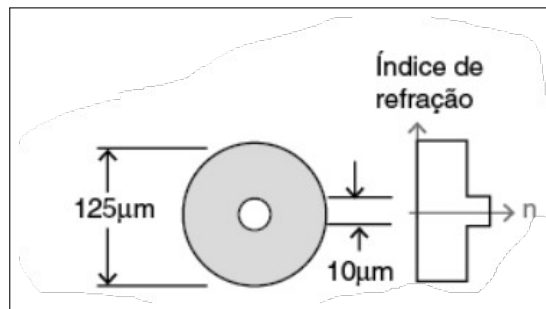
Fonte: Forouzan (2010).

### 2.3.3.2 Fibra Óptica Monomodo

As fibras do tipo monomodo, como o próprio nome sugere, só possuem um modo de propagação. Esta é semelhante a fibra de índice degrau, como visto na Figura 16, no entanto, o seu índice de refração é ainda menor. No seu único modo de propagação que é praticamente

horizontal, uma série de fatores são utilizados para satisfazer isso, como um índice de refração implica em um ângulo crítico próximo a  $90^\circ$ , uma fonte luz extremamente focalizada para evitar reflexões, diâmetro do núcleo menor e poucas vezes maior que o comprimento de onda da luz emitida pela fonte. Como dito as dimensões do núcleo são menores que a das fibras multimodo, com o diâmetro sendo entre  $8\ \mu\text{m}$  e  $12\ \mu\text{m}$ , e já casca em ambas as fibras variam de  $80$  à  $125\ \mu\text{m}$  (FOROUZAN, 2010; PINHEIRO, 2017).

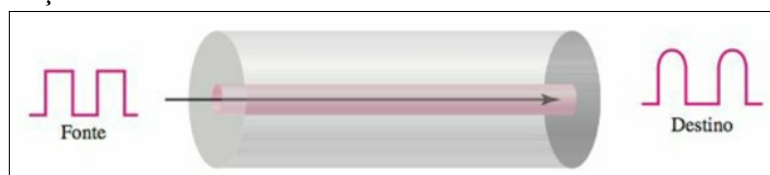
Figura 16 – Estrutura da fibra monomodo.



Fonte: Pinheiro (2017).

Algumas das vantagens desta com relação as fibras multimodos, primeiramente é que esta causa bem menos distorções no sinal, conforme pode ser observado na Figura 17, pois não ocorre reflexões dentro dela. Segundo, esta detém maior capacidade de transmissão, maior largura de banda e menor atenuação. Em virtude disso, este tipo de fibra é mais adequada para transmissões em longas distâncias.

Figura 17 – Distorção do sinal na fibra monomodo.



Fonte: Forouzan (2010).

Contudo, a principal desvantagem desta, se dá em relação as suas dimensões reduzidas, pois isso dificulta sua conectividade, "exigindo dispositivos e técnicas de alta precisão para a realização de conexões entre segmentos de fibras e do acoplamento da fibra com as fontes e detectores luminosos"(PINHEIRO, 2017). Esta também requer mão de obra qualificada e possui o custo mais caro com relação a fibra multimodo.

### 2.3.4 Perdas em Fibras Ópticas

Sabemos que todo meio que transmite algum tipo de informação através de um sinal, seja ele elétrico, magnético ou luminoso, sofre com os efeitos das perdas, que podem ter diferentes naturezas. As perdas do sinal luminoso em sistemas ópticos pode ocorrer em diversos pontos do enlace, como no acoplamento no início e final da fibra, nos conectores, nas emendas, nos elementos passivos (*splitters*) e na própria fibra. No entanto, nesta seção iremos abordar somente as perdas na própria fibra que recebe o nome de atenuações.

A atenuação é um importante parâmetro de projeto, pois é esta que define a distância máxima, na qual o emissor e o receptor devem estar para que o sinal seja detectado. A definição de atenuação é compreendida como a diferença entre a potência luminosa na entrada ( $P_{in}$ ) e a potência luminosa na saída ( $P_{out}$ ) da fibra. Considerando uma distância  $L$  entre o emissor e o receptor, atenuação na fibra óptica é definida como na Equação 2.3 (AMAZONAS, 2005):

$$\alpha_f = \frac{10}{L} \log \left( \frac{P_{in}}{P_{out}} \right). \quad (2.3)$$

As fibras ópticas podem ser feitas de vidro (moléculas de sílica  $\text{SiO}_2$ ) ou plástico, mas como as fibras de vidro possuem menor atenuação, logo estas são mais usadas em comunicações de longa de distância. O material a qual estas são feitas precisam desempenhar algumas funções como baixas perdas, possibilidade de serem moldados em fibras longas de espessuras micrometras e permitir pequenas variações nos índices de refração. Esta última para ser obtida geralmente fazendo-se uso da técnica chamada dopagem, que consiste em adicionar outros elementos de forma controlada, como Titânio, Germânio, Boro, Fósforo ou Flúor, as moléculas sílica, mas desde que se mantenha o elevado grau de pureza do material (AMAZONAS, 2005).

As principais causas de atenuações nas fibras ópticas são as seguintes: absorção, curvaturas, espalhamento e projeto de guia de onda. A seguir será discorrido sobre cada um de forma mais precisa.

#### 2.3.4.1 Absorção

Há três tipos de perdas por absorção, as quais são absorção intrínseca, extrínseca e por defeitos estruturais. A absorção intrínseca é causada pela interação da luz com o material que a fibra óptica é constituída, na qual este transforma energia luminosa em calor. O vidro, neste caso, mesmo possuindo um grau elevado de pureza, o mesmo ainda absorve considerável energia

luminosa, principalmente em comprimentos de ondas específicos. Uma das regiões onde essa absorção é bem forte é na faixa de comprimentos de onda curtos do espectro eletromagnético, região conhecida como ultravioleta, onde, geralmente, é denominada absorção UV. No entanto, como a região de ultravioleta é distante da região de operação da fibra, logo esta perda se torna desprezível (AMAZONAS, 2005).

Outra região é a do infravermelho, em que esta está associada as ligações químicas, como silício-oxigênio, onde a energia térmica faz com que as ligações se contraiam e expandam. Entretanto, essa é outra região que está longe da região de atuação da fibra óptica, mas se aproximam do limite superior de interesse, o que acaba ocasionando uma pequena perda, mas é um fator que impossibilita o uso de fibra em comprimentos de onda maiores que 1600 nm. A absorção intrínseca no geral são irrelevantes na região de operação das fibras ópticas, porém é um agente que impede o seu uso em certos comprimentos de onda (AMAZONAS, 2005).

Em conseguinte, tem-se a absorção extrínseca, que é gerada pela impurezas que aderem as fibras no seu processo de fabricação. É importante frisar que impurezas é diferente de dopantes, pois dopantes são partículas que são introduzidas propositalmente no vidro, de modo a alterar seu índice de refração de maneira desejável. Já impurezas são partículas indesejáveis que se incorporam ao vidro. Algumas dessa impurezas são os íons metálicos e os íons de hidroxila ( $\text{OH}^-$ ). Este tipo de absorção é a que mais causa perdas na fibra óptica na prática.

Outra absorção é aquela devida a imperfeições na estrutura do próprio material ao qual a fibra é feita. Estas imperfeições podem ser "a falta de moléculas ou a existência de defeitos do Oxigênio na estrutura do vidro"(AMAZONAS, 2005). A absorção devido defeitos estruturais também geram perdas na fibra, mas comparando com a absorção intrínseca e extrínseca, esta é praticamente desprezível. A mesma só se torna relevante quando a fibra está sujeita a radiação de alta intensidade, pois isso causa alterações na estrutura atômica das moléculas, por exemplo, em ambientes de exames médicos ou usinas nucleares.

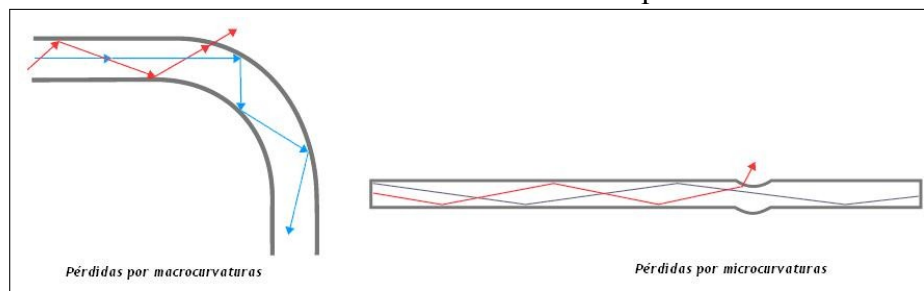
#### 2.3.4.2 *Curvaturas*

As perdas por curvaturas podem ocorrer por duas maneiras, sendo elas por microcurvaturas e macrocurvaturas. Primeiro, no caso de curvas microscópicas, estas são originadas quando a fibra é enrolada em carretéis e irregularidades nas interfaces do suporte produzem essas microcurvaturas, nas quais isso geram perdas de transmissão. Para fibras multimodo essa perda é pequena e não depende do comprimento de onda, já para as fibras monomodo essa perda pode

ser bastante significativa a partir de determinados comprimentos de onda (AMAZONAS, 2005).

Em seguimento, as curvas macroscópicas possuem raios grandes, onde ocorre de maneira intencional, por exemplo quando a fibra é enrolada em um carretel ou quando tem que contornar um canto. Isto causa perdas, pois faz com que o ângulo com o qual a luz atinge a interface núcleo-casca se torne menor que o ângulo crítico, logo não ocorrerá a reflexão total da luz, mas essa será em parte irradiada para fora da fibra, gerando assim perda de potência luminosa. Na Figura 18 abaixo é mostrada as perdas por macro e microcurvaturas.

Figura 18 – Macrocurvaturas e microcurvaturas em fibras ópticas.



Fonte: Ruíz (s.d.).

### 2.3.4.3 Espalhamento

O espalhamento é a perda de potência luminosa quando luz que percorre a fibra é convertida em outros modos ou comprimentos de onda que não se propagam bem ao longo da fibra. O espalhamento pode ocorrer de dois tipos, o linear e o não-linear.

O espalhamento linear ocorre quando há "variações microscópicas na densidade do material, de flutuações de composição e da não homogeneidade estrutural ou defeitos durante a fabricação das fibras"(KEISER, 2014), gerando assim a não homogeneidade aleatória do índice de refração. Para este tipo de espalhamento, tem-se duas maneiras, os espalhamentos Rayleigh e Mie.

No espalhamento Rayleigh essas não homogeneidades são muito menores que o comprimento de onda da luz, e elas são solidificadas na fase de resfriamento no processo de fabricação da fibra. Apesar de técnicas serem usadas para contornar esse efeito ele sempre irá existir em um limiar mínimo, devido à vibração das substâncias que compõem o vidro, no processo de solidificação em altas temperaturas. Assim, este espalhamento define um "limite inferior dos coeficientes de atenuação da fibra óptica", (AMAZONAS, 2005) na qual ele é proporcional a  $\lambda^{-4}$ , ou seja, a atenuação será menor para sistemas que operam na faixa do

infravermelho, que para os da faixa do ultravioleta.

A vista disso, o espalhamento Mie abrange as não homogeneidades as quais possuem dimensões comparáveis ou superiores ao comprimento de onda da luz. Os efeitos deste são mais bruscos, mas neste caso existem técnicas de fabricação capazes de extingui-los (AMAZONAS, 2005).

Não obstante tem-se as perdas devido a espalhamentos não-lineares, nas quais são geradas por campos ópticos fortes nas fibras ópticas. Neste tipos temos duas classificações, os espalhamentos de Brillouin e de Raman.

Para o espalhamento de Brillouin, que é gerado por elevados níveis de potência pela modulação do sinal óptico propagante devido suas vibrações moleculares no meio, na qual essa modulação produz novas frequências ou modos, as quais espalha a energia para essas novas frequências e modos indesejáveis. Esta energia espalhada para os novos modos não desejados será dissipada, assim gerando perdas para o campo óptico. As novas frequências gerada percorrem a fibra em direção contrária a do sinal de interesse (AMAZONAS, 2005).

A segunda forma de espalhamento não-linear é o espalhamento de Raman, em que neste a potência dos sinais que propagam a fibra são ainda mais elevados que no de Brillouin, e a transferência de potência ocorre na direção em que o sinal de interesse se propaga. É importante frisar que o espalhamento não-linear constitui uma preocupação particular para sistemas ópticos que utilizam fibras monomodo, já que essas possuem núcleo com diâmetro bem pequenos, fazendo assim que a energia fique bem mais concentrada.

#### *2.3.4.4 Projeto do Guia de Onda*

As propriedades intrínsecas do guia de onda também são um fator de perdas em fibras ópticas. Para se projetar um guia de onda com baixas perdas dois pontos são importantes e devem ser levados em consideração, um deles é garantir que a maior parte da potência luminosa do sinal que esta se transmitindo seja confinada no núcleo, e o outro é assegurar uma casca com espessura apropriada e que seja constituída de material com perdas semelhante a do material do núcleo (AMAZONAS, 2005).

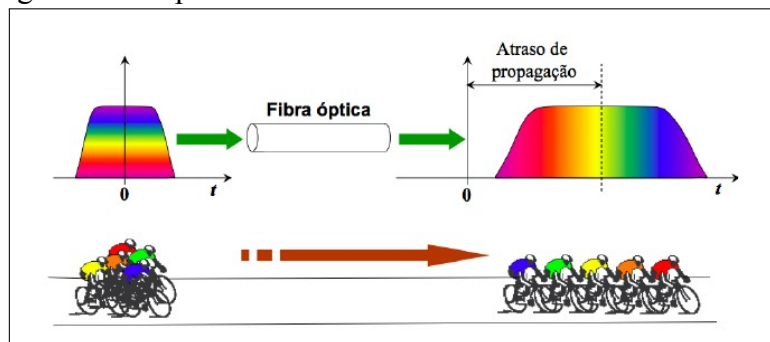
#### *2.3.5 Dispersão*

Dois fatores limitantes em relação ao comprimento dos enlaces ópticos são as atenuações e as distorções do pulso. No contexto de fibra óptica, a dispersão é o fato de os

sinais que percorrem a fibra possuem velocidades diferentes, e dessa forma ocasionando atrasos de propagação nos modos que transferem a energia luminosa, causando assim distorção do sinal e limitando sua capacidade de transmissão. A dispersão pode ser dividida em três tipos: dispersão modal ou intermodal, dispersão cromática ou intramodal e dispersão dos modos/modal de polarização.

A dispersão modal que acontece devido cada modo de propagação, de um mesmo comprimento de onda, ter uma velocidade de grupo diferente, pois cada grupo possui determinada frequência. Assim, isso gera diferentes atrasos do sinal na fibra, como é percebido na Figura 19. Esta afeta a transmissão apenas nas fibras multimodos, pois é esta que apresenta distintos modos de propagação (AMAZONAS, 2005; KEISER, 2014).

Figura 19 – Alargamento do pulso.



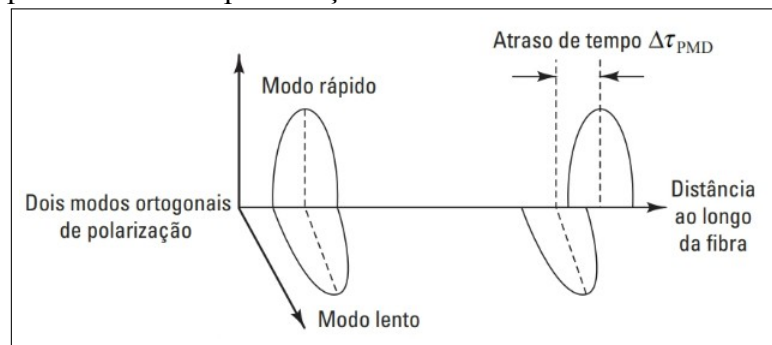
Fonte: Gonçalves (2012).

Já a dispersão cromática se trata de a velocidade de grupo, anteriormente mencionada para dispersão modal, em que este possui um único modo, a mesma ser dependente do comprimento de onda. Em outras palavras, se trata do atraso diferencial em que os muitos modos de propagação do pulso ou sinal experimentam, isso decorre do fato de o índice de refração variar com o comprimento de onda. Os efeitos dessa dispersão são o alargamento do pulso dentro de um único modo. Esse tipo de dispersão tem seu efeito bem significativo em fibras monomodo.

A dispersão dos modos de polarização também causa o alargamento do pulso, no entanto isso é efeito da birrefringência na fibra dos estados de polarização. A birrefringência ocorre quando um raio de luz polarizado atravessa determinado material, e este sofre o fenômeno de dupla refração, na qual é dividido em dois raios, como eles colidem com diversos índices de refração diferentes, logo acabam possuindo velocidades diferentes, um sendo mais rápido e outro mais lento (KEISER, 2014; PINHEIRO, 2017).

A birrefringência pode ser causada por diversos fatores intrínsecos, como irregularidades geométrica no núcleo da fibra e tensões ocorridas no processo de puxamento de fibra. O

Figura 20 – Dispersão modal de polarização.



Fonte: Keiser (2014).

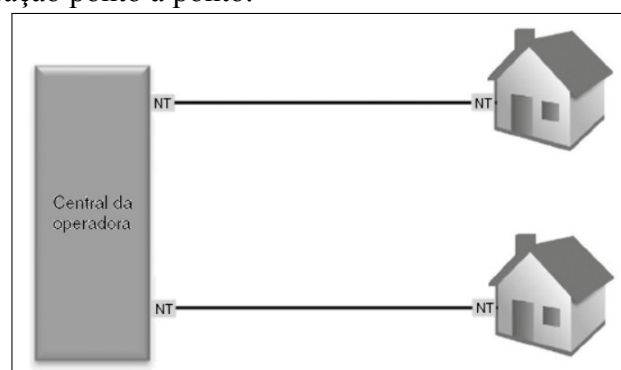
estado de polarização ao qual foi mencionado se refere ao fato da orientação de campo elétrico de um sinal de luz, que pode variar ao longo da fibra óptica.

## 2.4 Tipos de Redes Ópticas

Nesta seção será tratada sobre os tipos de redes de acesso em fibra óptica ou simplesmente redes ópticas. Existem dois modelos de redes ópticas, sendo elas: *Active Optical Network* (AON) e PON. No entanto, primeiro é importante conhecer alguns conceitos aos quais são aplicados sobre essas redes.

O primeiro deles é quanto a configuração básica dos sistemas de transmissão em fibras ópticas, os quais podem ser classificados de duas maneiras, como ponto a ponto ou ponto a multiponto. Na configuração ponto a ponto, ou simplesmente P2P, exige que uma fibra óptica seja dedicada para a comunicação entre cada usuário e o ISP, como é mostrada na Figura 21. Esta configuração permite uma banda dedicada somente a um usuário específico, e assim ótimas velocidades e estabilidade dos serviços. Entretanto, este é um serviço mais caro, tanto os seus planos como a sua instalação (PINHEIRO, 2017).

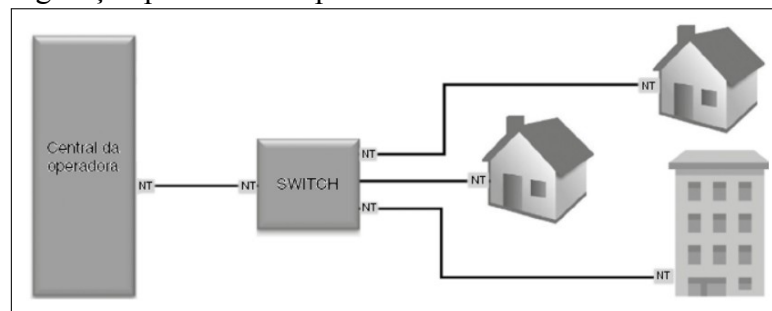
Figura 21 – Configuração ponto a ponto.



Fonte: Pinheiro (2017).

A configuração ponto a multiponto, ou somente P2MP, permite que uma mesma fibra seja compartilhada entre vários usuários para a conexão com o ISP, conforme é notado na Figura 22. Em função disso, a mesma permite a diminuição da quantidade de fibras utilizadas na rede, e assim diminui seu custo. No entanto, como é uma fibra compartilhada, a banda que o ISP tem disponível também é compartilhada entre os usuários. Logo, a velocidade do serviço irá variar muito ao longo do dia, dependendo de quantos usuários estão fazendo uso do serviço no momento.

Figura 22 – Configuração ponto a multiponto



Fonte: Pinheiro (2017).

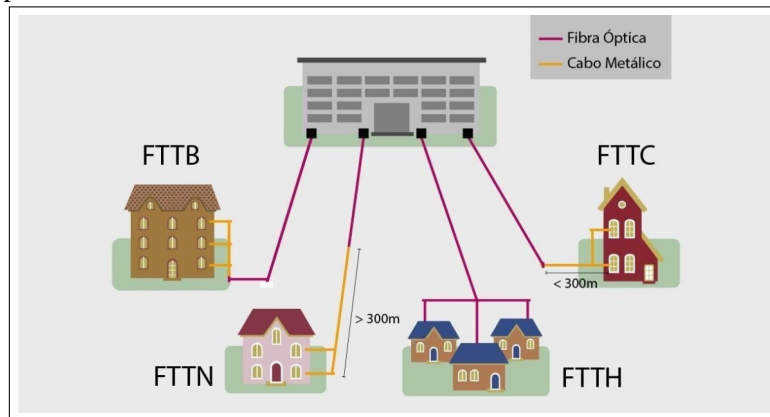
O segundo é a montagem das arquitetura de rede a qual estas redes estarão sujeitas. A arquitetura de rede *Fiber To The x* (FTTx) é caracterizada pelo trajeto a qual a fibra óptica irá percorrer e quão perto esta estará do usuário final, onde o "x" representa o ponto de terminação da fibra e a partir dele é usado outros tipos de cabo, como par traçado ou cabo coaxial.

Os modelos mais comuns são: *Fiber To The Building* (FTTB), que é quando a fibra chega até o prédio; *Fiber To The Neighborhood* (FTTN), nesse caso a fibra vai até a 'vizinhança', onde há um armário de telecomunicações localizado em áreas externas para atender, por exemplo, um bairro, na qual a distância desse armário aos usuários finais é superior à 300 metros; *Fiber To The Curb* (FTTC), este é semelhante ao anterior, no entanto a distância do armário até os usuários finais é inferior à 300 metros; FTTH, nesta a fibra vai até a residência do usuário final (PINHEIRO, 2017). A Figura 23 exhibe cada um desses modelos.

### 2.4.1 Redes Ópticas Ativas

As redes AONs fazem uso de duas arquitetura de rede, sendo elas de ponto a ponto e ponto a multiponto. A mais implementada é a primeira, de ponto a ponto, onde cada cliente possui uma rede de fibra dedicada, e no ponto a multiponto a parte final da rede em fibra também é compartilhada entre os usuários. Neste modelo os equipamentos utilizados entre o *Central*

Figura 23 – Arquiteturas FTTx.

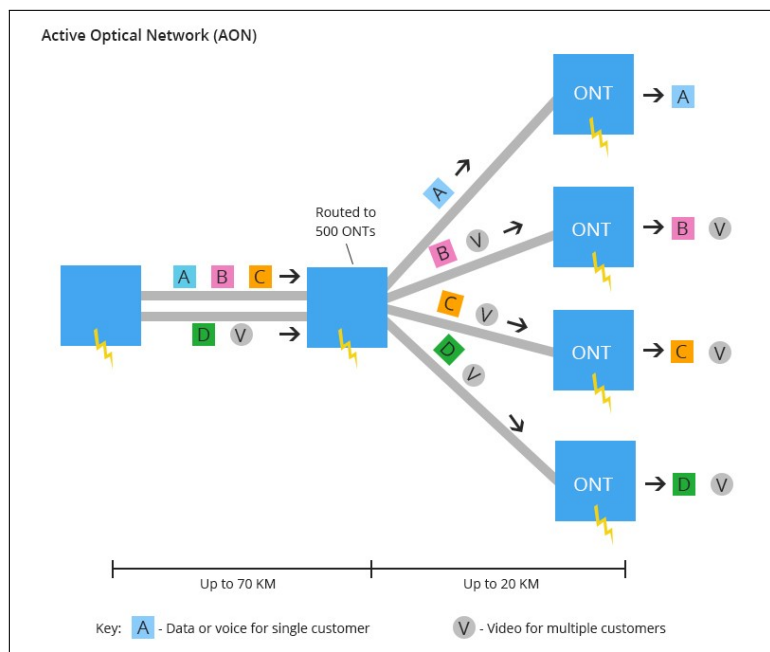


Fonte: Maschietto (2019).

*Office* (CO) e ONT são alimentados eletricamente, estes equipamentos compreendem a *Optical Distribution Network* (ODN), onde fazem parte: roteadores, agregadores de comutação (*switch*) e equipamentos ópticos ativos. Os equipamentos ópticos ativos incluem fontes de luz (*lasers*), receptores ópticos, módulos transceptores ópticos, amplificadores ópticos (amplificadores de fibra e amplificadores ópticos semicondutores), etc. (VSOL, 2022).

Os comutadores, também conhecidos como *switch*, são responsáveis por enviar e receber dados entre os clientes e o ISP, onde eles são centralizados e se conectam a cada cliente individualmente, como é visto na Figura 24. Os mesmos possuem alimentação elétrica, e fazem a regeneração do sinal e o gerenciamento da distribuição do sinal.

Figura 24 – Redes AONs.



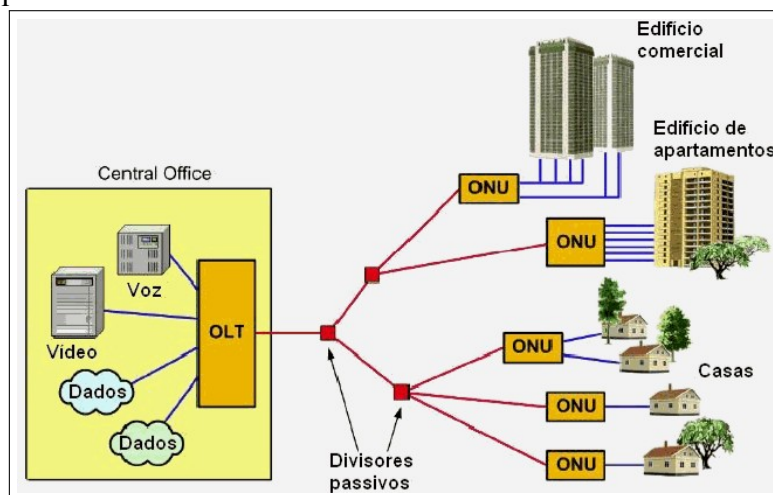
Fonte: Brasil (2020).

Como os equipamentos ativos são alimentados eletricamente, logo estes estão sujeitos a queima e problemas elétricos, e conseqüentemente requerem manutenção constante. Os equipamentos de rede AON possuem limite de capacidade, logo se a tecnologia e a banda evoluem, precisa que o comutador também evolua, assim será necessário sua troca. Mas as AONs apresentam como vantagens transmitir dados em altas velocidade e baixas latências em longas distâncias, suas distâncias podem atingir até 90 km da CO até a ONT. Esse tipo de rede é mais requisitada por empresas e organizações.

#### 2.4.2 Redes Ópticas Passivas

As redes PONs usam topologia ponto a multiponto, na qual o sinal que passa em uma fibra pode ser dividido para vários clientes por meio dos divisores ópticos, como é observado na Figura 25. Quando se fala em rede passiva isso quer dizer que a ODN, ou seja, os equipamentos entre a OLT e ONT/ONU são todos passivos, ou seja, não precisam de alimentação elétrica, esses equipamentos são, em maioria, *splitters* ou divisores ópticos, onde tem a função de separar e coletar os sinais ópticos transmitidos na rede. Através dos divisores ópticos é possível atender vários clientes por meio de uma mesma fibra sem necessidade de designar uma para um cliente específico (PINHEIRO, 2017; BRASIL, 2020).

Figura 25 – Esquemático das redes PONs.



Fonte: Pinheiro (2010).

Na PON a maioria de seus componentes não regenera o sinal, mas se perde sinal, pois eles são passivos, logo não é possível colocar tantos *splitters* em cascata na rede e isso ocasiona que a rede passiva não tem grandes alcances, podendo chegar em torno de 20 km de extensão. Neste tipo os equipamentos passivos não são tão suscetíveis aos impactos da evolução

dos equipamentos, não precisam ser trocados com tanta frequência que os equipamentos ativos. Outra vantagem da PON é seu custo de implementação e manutenção são bem mais baixo que da rede AON. A seguir será apresentada alguns tipos de redes PONs.

#### 2.4.2.1 APON – Rede Óptica Passiva em Modo de Transferência Assíncrona

A *Asynchronous Transfer Mode Passive Optical Network* (APON) foi criada em 1995 e foi o primeiro tipo de PON que surgiu, originou-se devido os meios de comunicação na época não serem capazes de transmitir serviços de voz, dados e vídeos simultaneamente, pois utilizavam *Time Division Multiplexing* (TDM), a qual na época a taxa de transmissão de serviços de telefonia não eram adequadas para os serviços de dados. A mesma utilizava tecnologia *Asynchronous Transfer Mode* (ATM), onde as informações eram transmitidas de forma segmentadas em células, que eram entregues as ONUs destinatária de acordo com o cabeçalho da célula (MENDES, 2021).

A distância máxima entre OLT e ONT era de 20 km em fibra óptica monomodo, onde cada saída da OLT só comportava no máximo 32 ONTs, com taxas de transmissão derivadas do ATM de 155 Mbps e 622 Mbps no sentido *downstream* (em tráfego contínuo de dados *broadcast*), com transmissão em TDM, e 155 Mbps no sentido *upstream* (tráfego em rajadas), com transmissão em *Time Division Multiple Access* (TDMA).

#### 2.4.2.2 BPON – Rede Óptica Passiva Banda Larga

A *Broadband PON* (BPON) surgiu em detrimento de o termo APON levava a entender que somente serviços baseados em ATM é que poderiam ser utilizados, assim a *Full Service Access Network* (FSAN) mudou o nome de APON para BPON, bem como também incluiu alguns aprimoramentos, como suporte em *Wavelength Division Multiplexing* (WDM), alocação dinâmica de largura de banda, integração de serviços voz, dados e vídeo, bem como a qualidade desses e a interoperabilidade entre equipamentos, assim como aprimorou as taxas de transmissão para 1.244 Mbps e 622 Mbps assimétrico (canal de *downstream*) e 622 Mbps simétrico (canal de *upstream*) (PINHEIRO, 2017).

#### 2.4.2.3 EPON – Rede Óptica Passiva Ethernet

A *Ethernet Passive Optical Network* (EPON) surgiu devido um grupo de estudos formado pelo *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), com objetivo de estudar a utilização de *Ethernet* nos links de fibra óptica, já que a APON possuía baixa capacidade de transmissão de vídeos, limitação da banda e custo. A EPON utiliza topologia de rede ponto-multiponto através de divisores ópticos passivos, e em virtude dessa “mistura” da tecnologia PON com o padrão *Ethernet* necessitou fazer readequação como a conversão de protocolo ATM para *Internet Protocol* (IP) (PINHEIRO, 2017; MENDES, 2021).

A transmissão no EPON é simétrica (mesma taxa de transmissão em ambas as direções), com taxa de até 1,25 Gbps e adequada para serviços de dados. Na EPON cada saída da OLT suporta até 64 ONTs/ONUs. O gerenciamento da rede EPON é feito através de protocolo, que especifica um mecanismo entre a OLT e a ONT/ONU, de modo a garantir a transmissão eficiente de dados no sentido *upstream*.

Os sistemas EPON multiplexam os sinais de transmissão da OLT para as ONUs (*downstream*) e das ONUs para a OLT (*upstream*) usando diferentes comprimentos de onda de luz: 1490 nm para os sinais *downstream* e 1310 nm para os sinais *upstream*. O tráfego de informações *downstream* é transmitido em modo *broadcast*, ou seja, os quadros transmitidos pelo OLT são recebidos por todas as ONU, na qual esses quadros possuem tamanhos variados de até 1518 bytes. Cada ONU filtra os quadros recebidos com base em um identificador contido em cada quadro, dessa forma descartando aqueles quadros não destinados a si. No sentido *upstream* as transmissões utilizam a técnica TDMA, em que cada ONU transmite em um intervalo de tempo de acordo com um *time slot* concedido pelo OLT (PINHEIRO, 2017).

#### 2.4.2.4 GPON – Rede Óptica Passiva Gigabit

A tecnologia GPON desenvolvida pela FSAN e aprovada pela *International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector* (ITU-T), teve como objetivo padronizar as redes PONs com capacidade de operar/transmitir em 1 Gbps, de modo a transmitir volumosos tráfegos de IP. Sabe-se que a capacidade de transmissão GPON é maior que as anteriores, no entanto esta é totalmente compatível com os modelos anteriores. O GPON transporta não somente informações padrão *Ethernet*, mas também ATM e TDM.

A capacidade de tráfego da rede GPON, diferentemente da EPON, é assimétrica

devido a taxa de *downstream* ser de 2,488 Gbps e no *upstream* ser de 1,244 Gbps. As portas PONs das OLTs GPON suportam até 128 ONTs ou ONUs, no entanto é recomendado usar até 32 ONTs por porta da OLT, para distâncias de acesso local inferior a 20 km é recomendado até 64 ONTs por porta da OLT, isso ocorre devido quanto maior for a taxa de divisão menor será a capacidade dedicada para cada usuário, e assim diminuirá a qualidade do serviço para o mesmo (PINHEIRO, 2017).

A comunicação na GPON para as ONUs (*downstream*), é feita em *broadcast* a partir do OLT, com todas ONUs recebendo os quadros e filtrando aqueles que não são destinados a si através do endereçamento. E as transmissões das ONUs (*upstream*) são feitas utilizando TDMA, que através de alocação de *time slots*, definidos pela OLT, permitem controlar quando cada ONU pode transmitir seus dados.

## **2.5 Principais Componentes de Uma Rede PON**

Segundo o já abordado, a característica principal das redes passivas é a ausência de componentes ativos na sua rede de distribuição, somente os elementos nos extremos da rede são alimentados eletricamente, que são a OLT e a ONU. Dessa maneira, nesta seção serão detalhados os componentes que fazem parte das redes GPON.

### **2.5.1 OLT**

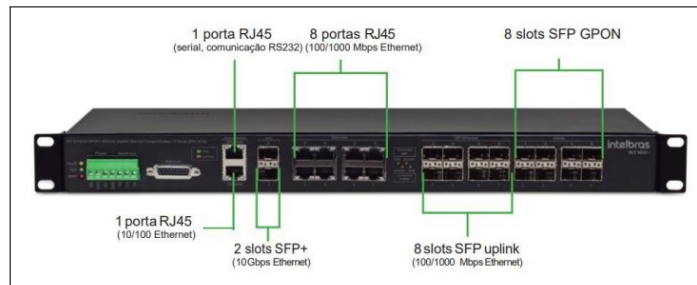
A OLT é um equipamento ativo que fica localizado na central do ISP, na qual possui função principal de gerenciar a *Quality of Service* (QoS) que chega aos usuários finais do serviço.

Este aparelho é responsável por controlar e transmitir os serviços de dados, voz, vídeo aos usuários finais, e assim fazer a interface entre a central e o usuário, tanto no sentido central-usuário, como no sentido usuário-central. A mesma faz o gerenciamento de banda alocada para cada usuário, bem como também controla a alocação dinâmica de largura de banda, se necessário, faz o processamento de sinais GPON, realiza a sincronia entre as ONUs e faz as verificações de segurança. Na Figura 26 abaixo está exposta um modelo de OLT (ALBUQUERQUE, 2018).

### **2.5.2 DIO**

O Distribuidor Interno Óptico (DIO) tem como função receber e acomodar os cabos de fibra óptica que saem da OLT, de modo a facilitar seu manuseio, já que esses cabos são bem

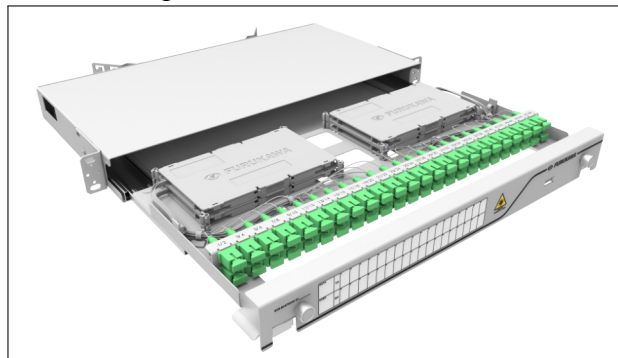
Figura 26 – Modelo de OLT.



Fonte: Intelbras (s.d.a).

rígidos. O mesmo é responsável por fazer a proteção dos cabos e facilitar sua instalação, assim como organizar, acomodar e proteger as fusões de fibra óptica, e portanto, evitando o rompimento dos cabos e os mantendo livres de qualquer interferência externa. O DIO pode suportar até 72 fusões, dependendo de seu fabricante. Os cabos que chegam nele da OLT são acomodados em sua carcaça, na qual é feita uma emenda disponibilizada somente através de conectores ópticos. Na Figura 27 é mostrado o DIO.

Figura 27 – Distribuidor interno óptico.



Fonte: Furukawa (s.d.c).

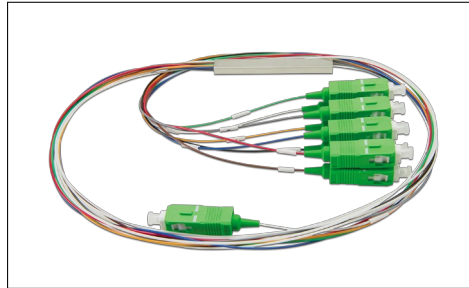
### 2.5.3 Splitter

O *splitter* ou divisor óptico é um dispositivo muito importante em redes PONs, pois tem como função dividir o sinal óptico, e é através deste que uma única fibra com origem na central do provedor pode atender diversos clientes, e gerando, assim, a configuração de rede ponto-multiponto. Os *splitters* podem ou não ter conectores em sua entrada ou saídas, os mesmo são divididos em dois tipos: balanceados e não balanceados.

Os *splitters* balanceados dividem o sinal de forma igual para cada saída, ou seja, a potência do sinal de entrada é dividida igualmente para os sinais de saída. Por exemplo, para um *splitter* 1x8 (1 para 8) o sinal de entrada é dividido igualmente para as 8 saídas, logo cada

saída possui a mesma quantidade de potência do sinal de entrada. Já para os desbalanceados, essa divisão do sinal de entrada para suas saídas não é feita de modo igual, por exemplo, para um *splitter* desbalanceado de ordem 2 (1x2) pode ocorrer de que 80% do sinal de entrada saia em uma saída e outros 20% saia na outra saída. A seguir, na Figura 28 tem-se a imagem de um *splitter* 1x8.

Figura 28 – *Splitter* 1x8.



Fonte: Intelbras (s.d.b).

Na entanto, atrelado a ordem de divisão do *splitter* existe uma perda associada, e quanto maior a divisão que o mesmo executa maior é a perda agregada, com é visto na Tabela 1.

Tabela 1 – Perdas nos *splitters*.

<i>Divisor</i>	<b>1:2</b>	<b>1:4</b>	<b>1:8</b>	<b>1:16</b>	<b>1:32</b>	<b>1:64</b>
<b>Perda (dB)</b>	3,7	7,3	10,5	13,7	17,1	20,5

Fonte: Cruz (2019).

#### 2.5.4 CEO

A CEO é responsável por acomodar e proteger as fusões de cabos ópticos, fusões essas entre o cabo troncal e as derivações da rede de distribuição. Esta abriga as fusões, de modo a proteger do contato com o meio externo, sendo resistente a água, poeira e outras intempéries do meio externo. A mesma pode ser instalada em poste ou em vão entre postes. A CEO possui vários tamanhos e formatos, dependendo da necessidade do projeto. Um exemplo desta é exibido na Figura 29 (ARAÚJO, 2019).

#### 2.5.5 CTO

A CTO tem como função acomodar e proteger as emendas feitas por fusões entre o cabo de distribuição e os cabos *drops* da rede de atendimento, ou seja, faz a distribuição do cabeamento ópticos aos usuários finais da rede. Geralmente a CTO é instalada em postes da rede

Figura 29 – Caixa de emenda óptica.



Fonte: Furukawa (s.d.a).

elétrica, mas também pode ser colocada em paredes e fachadas. Como fica em áreas externas e conseqüentemente exposta aos raios solares, esta possui proteção UV e também vedação mecânica.

Figura 30 – Caixa de terminação óptica.



Fonte: Furukawa (s.d.b).

### 2.5.6 ONU

A ONU é um dispositivo instalado nas dependências do usuário que é responsável por fazer a conversão de sinal óptico (GPON/EPON) para elétrico (padrão *Ethernet* ou *Wifi*). Possui como funções: processar os dados recebidos viabilizando a aplicação de algoritmos de priorização de QoS, disponibilizar interfaces para serviços de comunicação de dados, serviço de telefonia, televisão rádio frequência, conforme a configuração fornecida pelo fabricante (SILVA, 2012).

Um dado muito importante quando se vai obter uma ONU é a sua sensibilidade de recepção, pois dependendo da potência de saída do sinal da OLT e das perdas que o sinal sofre até chegar ao usuário, pode ser que esse valor da potência do sinal a ser recebido não seja detectado, é recomendável escolher ONU com sensibilidade entre -25 e -30dBm.

Figura 31 – Unidade de rede óptica (ONU).

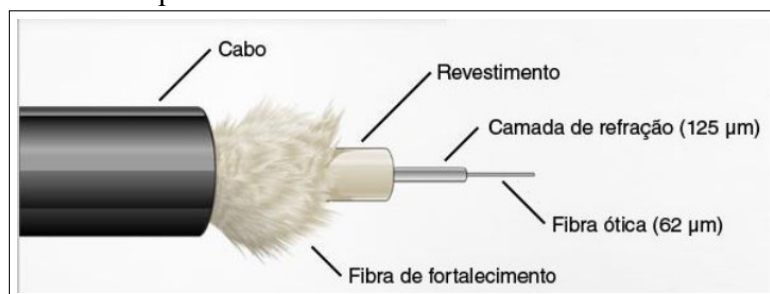


Fonte: Luiza (s.d.).

### 2.5.7 Cabos de Fibras Ópticas

O cabo óptico é o elemento responsável por interligar todos os equipamentos e dispositivos na rede, desde a central com a OLT até a ONU, é através dele que sinal se propagará até chegar ao cliente. Sua estrutura básica é apresentada na Figura 32 abaixo. Sendo composta pelas seguintes camadas:

Figura 32 – Cabo de fibra óptica.



Fonte: Ferreira (2013).

- No centro do cabo óptico tem-se a **núcleo**, que é formado por vidro ou plástico, especificamente sílica ( $\text{SiO}_2$ ) de elevado grau de pureza;
- Revestindo o núcleo tem a **casca**, que possui o mesmo material que o núcleo, que é responsável por manter o feixe luminoso dentro do núcleo devido seu índice de refração ser diferente do núcleo;
- Envolvendo a casca possui uma **revestimento interno** que possui como função proteger a fibra contra impactos externos;
- Em seguida há uma camada de **fibra de fortalecimento** feita de kevlar, um material bastante resistente e leve. Esta camada serve para evitar rupturas na fibras, pois em

determinadas situações as fibras estão sujeitas a torções, trações e puxão durante seu transporte e instalação;

- E por fim tem-se a **capa protetora**, que é a parte mais externa do cabo óptico responsável por proteger as outras camadas mais internas contra agentes externos do meio.

No Brasil o órgão que regulamenta os critérios mínimos e padrões de qualidade é a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através das normas chamadas de Norma Brasileiras (NBRs). As mesmas se diferenciam em alguns aspectos das normas internacionais, como o padrão de cores de capa e fibra, mas os requisitos mecânicos e ambientais são similares. Os cabos ópticos são divididos em cinco categorias distintas, sendo elas definidas pelo tipo de ambiente e a aplicação a que o cabo se destina. São elas:

1. **Cabos Ópticos Externos:** São produzidos para aplicações externas. O mesmo também é conhecido como cabo *backbone* que esta na parte troncal da rede e é bem mais robusto que os outros. A parte da rede em que este é usado é na interligação entre o DIO e as CEOs, logo são os cabos que possuem mais fibras internas e também são mais resistentes a ação do sol e do meio ambiente. Estes cabos podem possuir vãos de até 200 metros, segundo NBR 14160 ou ainda terem vãos longos (acima de 200 metros), conforme NBR 15330.
2. **Cabos Ópticos de Acesso:** Este tipo também feito para aplicações externas e internas, mas a parte da rede em que é aplicado é da saída das CEOs até as CTOs. É um cabo menos robusto e com menos quantidades de fibras que o anterior. Como também é para aplicações internas este deve atender a requisitos de flamabilidade. Estes requisitos são essenciais para impedir a propagação de chamas, ou seja, incêndios e controle de fumaça que este libera ao ambiente e conseqüentemente elementos tóxicos dessa fumaça.
3. **Cabos Ópticos de Terminações:** Este cabo são usados na parte da rede que interliga as CTOs até as ONUs, são conhecidos como cabos *drops* por serem autossustentados e fazer a descida da CTO até a residência. Podem ser empregados em instalações autossustentadas externas ou dentro de dutos, assim devem ter proteção contra raios solares e agente do meio externo, bem como também obedecer a requisitos de flamabilidade.
4. **Cabos Ópticos Internos:** Como o próprio nome sugere estes são feitos para aplicação internas ou ambientes fechados, como residências ou prédios. Normalmente sua instalação é feita através de dutos e seguem normas específicas para eles, como NBR 14771. Estes possuem várias subdivisões que dependem de sua classe de flamabilidade.
5. **Cordões Ópticos:** Também são fabricados com finalidade para ambientes internos, porém

distinguem-se dos cabos ópticos pelo fato de serem mais flexíveis e possuírem tamanhos menores, assim são mais fáceis de manusear. No entanto, comportam menos fibras e possuem resistência mecânica menor que os anteriores. São regidos pela norma NBR 14106.

Todas as cinco categorias de cabos ópticos descritas anteriormente possuem nomenclaturas inscritas na parte exterior do cabo para sua correta identificação em caso de reparo ou manutenção na rede. A Tabela 2 mostra um exemplo do significado de cada parte da nomenclatura para o caso dos cabos ópticos externos (ARAÚJO, 2019).

Tabela 2 – Nomenclatura dos cabos fibra ópticas externos.

<b>Nomenclatura</b>	<b>Significado</b>
CFOA	Cabo de fibra óptica de acrilato
SM ou MM	Tipo de fibra - monomodo ou multimodo
AS	Autossustentado
80, 120, 200...	Vão máximo entre os postes
G ou S	Proteção contra umidade - gelado ou seco
'x' F	'x' é o número de fibras (12, 24, 36...)
NR ou RC	Tipo de capa - normal ou retardante a chama

Fonte: Araújo (2019).

Conforme já visto, o sinal luminoso sofre perdas ao longo do percurso em que este percorre a fibra óptica, esta perda é característica da própria fibra, o que é determinado pelo fabricante, mas também depende do comprimento de onda do sinal luminoso que se propaga nela. Existem alguns valores típicos que serão adotados neste trabalho, em que são apresentados na Tabela 3 abaixo.

Tabela 3 – Coeficientes de atenuação de alguns cabos ópticos

<b>Tipo de fibra</b>	<b>Comp. de onda (nm)</b>	<b>Coefi. de atenuação máximo (dB/km)</b>
Multimodo (50 ou 62,5/125 $\mu$ m)	850	3,5
	1300	1,5
Monomodo (uso externo)	1310	0,5
	1550	0,5
Monomodo (uso interno)	1310	1,0
	1550	1,0

Fonte: Pinheiro (2017).

### 2.5.8 Conectores

Quando se está construindo uma rede PON é normal se deparar com situações na qual o comprimento da fibra não chega ao local necessário, então se torna preciso a junção entre cabos ópticos, no entanto nem todas as fibras são compatíveis, pois são de tipos ou diâmetros diferentes. Existem três tipos de emendas: fusão, mecânica ou por conectorização.

A emenda por fusão é feita através de uma aparelho específico, Figura 33 , que é responsável por fundir uma fibra na outra de maneira correta, de modo a alinhar seus núcleos, e em seguida aplica uma arco voltaico que funde as duas pontas das fibras e as 'unem' (FIBRACEM, 2021).

Figura 33 – Máquina de emenda por fusão de fibra óptica.



Fonte: SindiFibras (s.d.).

Já na emenda mecânica o alinhamento das fibras é feita através de estruturas mecânicas, onde as pontas da mesma são perfiladas para que a luz continue a passar. Geralmente é usado um gel casador de índice de refração, de valor próximo ao índice de refração das fibras, o que diminui atenuação desse tipo de encaixe/emenda. A Tabela 4 apresenta alguns valores adotados de perda por emendas tipo fusão e mecânica (FIBRACEM, 2021).

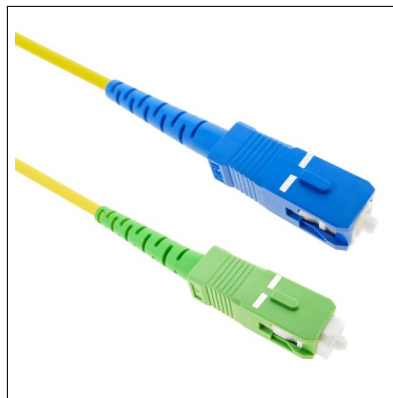
Tabela 4 – Perdas nas emendas ópticas.

Tipo de Emenda	Perdas nas Emendas (dB)			
	Multimodo		Monomodo	
	Médio	Máximo	Médio	Máximo
<b>Fusão</b>	0,15	0,3	0,15	0,3
<b>Mecânica</b>	0,15	0,3	0,2	0,3

Fonte: Pinheiro (2017).

Na conectorização, o processo é bem semelhante a emenda mecânica, a diferença é que nesta a junção entre as fibras é realizada por meio de pares de conectores ópticos que são embutidos em um acoplador óptico, que possibilita o alinhamento entre essas fibras, sem juntá-las permanentemente. A emenda por conectorização é bastante usada em acessórios ópticos, tais como os DIO, CEO, CTO entre outros passivos. Existem alguns tipos de conectores, no entanto os mais usados são o conector *Square Connector/Physical Contact* (SC/PC) (cor azul) e o conector *Square Connector/Angled Physical Contact* (SC/APC) (cor verde), como na Figura 34.

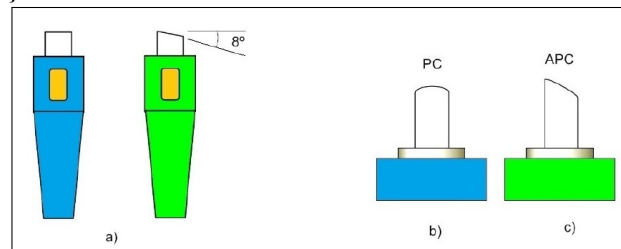
Figura 34 – Conector SC/PC e SC/APC



Fonte: CableMatic (s.d.).

O conector SC/PC possui uma área de contato polida de forma convexa para evitar que exista espaço no contato entre os dois conectores, e assim diminuindo as chances de interferência de partículas externas. Já o conector SC/APC possui uma área de contato polida de forma angulada, de aproximadamente  $8^\circ$ . Esse aspecto faz com que o encaixe seja mais firme, e possibilite uma transmissão de dados com maior velocidade. A Figura 35 mostra o comparativo entre os dois tipos de conectores (ALBUQUERQUE, 2018).

Figura 35 – Comparação entre os conectores SC/PC e SC/APC

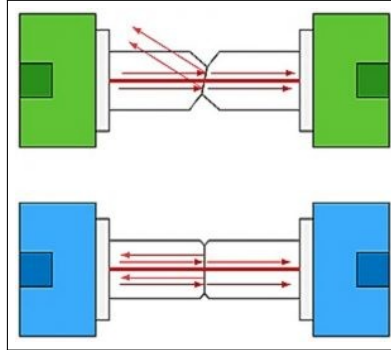


Fonte: Albuquerque (2018).

A Figura 36 retrata como as características do tipo de polimento pode interferir em caso de reflexão do sinal na interface entre a conexão dos conectores. No caso dos conectores

também existe uma perda associada a cada par destes usados em uma rede, alguns valores típicos estão expostos na Tabela 5.

Figura 36 – Detalhe do polimento entre os conectores SC/PC e SC/APC.



Fonte: Marellato (2018).

Tabela 5 – Perdas por par de conectores.

Tipo de conector	Polimento	Perda por Par de Conectores (dB)	
		Típico	Máximo
SC	PC	0,3	0,5
SC	APC	0,15	0,3

Fonte: Pinheiro (2017) (Adaptado).

### **3 METODOLOGIA E ELABORAÇÃO DO PROJETO GPON FTTH**

Neste capítulo, adentramos em um exame detalhado dos aspectos práticos e técnicos que moldam a implementação de uma rede óptica do tipo FTTH. Exploraremos os procedimentos práticos que compõem a construção dessa rede, desde a coleta de dados geoespaciais dos postes até o cálculo do orçamento de potência e a importância da margem de segurança de 3 dB.

Ao longo deste capítulo, será destacada a relevância de cada etapa, exemplificando sua influência na confiabilidade da comunicação e na qualidade do serviço oferecido aos usuários finais. Além disso, examinaremos a análise crítica de pontos remotos, ressaltando a necessidade de manter a eficácia da comunicação, independentemente das condições desafiadoras.

#### **3.1 Definições do Projeto**

O início do projeto se dá com o conhecimento da área na qual a rede será instalada e dimensionamento dos equipamentos que serão utilizados. Adiante se procederá um série de passos ao qual o projeto deverá seguir para que este seja bem dimensionado e possa atender a demanda ao qual poderá estar sujeito.

##### **3.1.1 Área de Cobertura**

O escopo do presente projeto se concentra na prestação de serviços na região do distrito de Araquém, situado no município de Coreaú. O município abriga uma população total de 20.952 residentes distribuídos em 9.780 domicílios, com uma média de 2,98 habitantes por domicílio, conforme informações extraídas do censo realizado em 2022.

O distrito de Araquém, alvo de nosso estudo, acomoda uma população total de 1.842 habitantes. Com base na média de habitantes por domicílio do município, estima-se a existência de aproximadamente 743 domicílios em Araquém, como ilustrado na Figura 37, que apresenta a localização do projeto. Considerando uma taxa de penetração de 35%, o presente projeto busca inicialmente atender um total de 260 clientes. A partir dessa quantidade de clientes a ser atendida no estágio inicial, procederemos ao dimensionamento das demais etapas do projeto.

Figura 37 – Área de cobertura do Projeto FTTH.



Fonte: Google Earth, 2023.

### 3.1.2 Tamanho das Células

Nesta seção, será abordado o conceito de tamanho das células,  $TC$ , no âmbito do projeto de infraestrutura de telecomunicações. O tamanho das células corresponde a uma área específica que abrange um número predeterminado de clientes ou residências. Sua determinação se baseia na ordem de divisão dos *splitters* e na taxa de penetração, conforme expresso na fórmula a seguir:

$$TC = \frac{\text{Ordem da Divisão} * 100\%}{\text{Taxa de Penetração}(\%)}. \quad (3.1)$$

No contexto deste projeto, será utilizado *splitters* de 1x8, no entanto das oito saídas será considerada 6 saídas para uma taxa de penetração de 35% as outras duas saídas será alocadas para futuras expansões ou caso exista área em possua mais adesão que outras. Substituindo os valores na Equação 3.1, temos

$$TC = \frac{6 * 100\%}{35\%} = 17 \text{ residências} \quad (3.2)$$

A precisão na determinação do tamanho das células é de suma importância para otimizar a operacionalidade e a qualidade do serviço oferecido aos clientes, destacando-se, assim,

como um elemento fundamental no planejamento e execução deste projeto de infraestrutura de telecomunicações.

### 3.1.3 Número de CTOs

A CTO desempenha o papel de equipamento responsável por estabelecer a conexão dos usuários à rede. A partir dela, são distribuídos os cabos *drops* que efetuam a conexão com os usuários. A determinação da quantidade de caixas de atendimento no projeto está intrinsecamente relacionada à quantidade de células que compõem o mesmo. Essa relação pressupõe uma caixa de atendimento para cada célula. Portanto, ao se conhecer o número de células, é possível calcular a quantidade correspondente de CTOs. Esse cálculo pode ser realizado utilizando a seguinte equação:

$$\text{Número de CTOs} = \frac{\text{Número de domicílios}}{\text{Tamanho da célula}} = \frac{743}{17} = 44 \text{ CTOs.} \quad (3.3)$$

### 3.1.4 Número de CEOs

O cálculo do número de CEOs depende da relação entre a quantidade de CTOs e a ordem de divisão dos *splitters* de primeiro nível, como expresso na equação a seguir:

$$\text{Número de CEOs} = \frac{\text{Número de CTOs}}{\text{Ordem da divisão dos splitters de 1º nível}} = \frac{44}{8} = 6 \text{ CEOs.} \quad (3.4)$$

Neste cálculo, determina-se o número de CEOs com base na proporção entre os CTOs disponíveis e a ordem de divisão dos *splitters* de primeiro nível. Isso é essencial para o dimensionamento adequado desses elementos na infraestrutura da rede. Se o número de CEOs não for adequado para atender às necessidades da rede de telecomunicações, podem ocorrer problemas significativos na qualidade e eficiência dos serviços prestados. Alguns dos possíveis problemas associados a um número inadequado de CEOs incluem:

- Sobrecarga da rede: Se houver um número insuficiente de CEOs, a rede pode ficar sobrecarregada devido ao excesso de conexões e tráfego. Isso pode resultar em congestionamentos, lentidão na transmissão de dados e quedas de serviço;
- Qualidade do serviço comprometida: A qualidade dos serviços de telecomunicações, como telefonia e acesso à internet, pode ser prejudicada devido à falta de capacidade para atender à demanda dos usuários. Isso pode resultar em chamadas com qualidade ruim, conexões instáveis e velocidades de internet reduzidas;

- Atrasos na expansão: Se o número de CEOs for insuficiente para acomodar o crescimento da rede ou a adição de novos clientes, a expansão da infraestrutura de telecomunicações pode ser atrasada. Isso pode limitar a capacidade da operadora de atender às crescentes demandas do mercado;
- Necessidade de atualizações custosas: Para resolver problemas decorrentes de um número inadequado de CEOs, pode ser necessário realizar atualizações significativas na infraestrutura existente, o que geralmente é dispendioso em termos de recursos financeiros e tempo.

Portanto, é fundamental que o número de CEOs seja calculado com precisão para garantir o desempenho adequado da rede de telecomunicações e a satisfação dos clientes. O planejamento cuidadoso e a manutenção regular da infraestrutura são essenciais para evitar esses problemas e assegurar uma operação eficaz.

### 3.1.5 Orçamento de Potência

O orçamento de potência do projeto é o cálculo da diferença entre a potência transmitida pelo transmissor à fibra e a sensibilidade do receptor. Este cálculo é de extrema importância, pois permite avaliar se o receptor será capaz de receber corretamente a mensagem enviada pelo transmissor. Nesse cálculo, são consideradas todas as perdas às quais o sistema óptico está sujeito, como as perdas nos elementos passivos (*splitters*, cabos, emendas, conectores, etc.), as perdas devido ao envelhecimento dos equipamentos ativos, possíveis manutenções futuras, entre outros. A equação que governa o orçamento de potência é a seguinte:

$$P_{TX} - A_{FO} - P_C - P_E - P_P - M_S - S_{RX} > 0, \quad (3.5)$$

onde:

- $P_{TX}$  é a potência de saída (Tx), em dBm;
- $A_{FO}$  é a atenuação total na fibra, em dBm;
- $P_C$  é a perda total nos conectores, em dB;
- $P_E$  é perda total nas emendas, em dB;
- $P_P$  é a perda total nos elementos passivos, em dB;
- $M_S$  é a margem de segurança, em dB;
- $S_{RX}$  é a sensibilidade do receptor, em dBm.

Tal métrica é uma abordagem que permite analisar se a potência do sinal recebido

pelo receptor é adequada para estabelecer uma comunicação confiável, ou seja, se o receptor pode corretamente detectar o sinal transmitido pelo transmissor. Portanto, podemos reformular a equação 3.5 de forma que a diferença entre a potência transmitida pelo transmissor  $P_{TX}$  e a atenuação total  $A_T$  sofrida pelo sinal ao longo do enlace óptico, deve ser maior do que a sensibilidade do receptor  $S_{RX}$ . Assim, a equação resultante é a seguinte:

$$P_{TX} - A_T > S_{RX}. \quad (3.6)$$

Essa equação simplificada demonstra que, para garantir uma comunicação confiável, **a potência transmitida deve ser maior do que as perdas ao longo do enlace óptico**, de forma a superar a sensibilidade do receptor. Na Seção 3.3 será o feito o orçamento de potência do projeto.

### 3.2 Resumo do Quantitativo de Elementos do Projeto

Na Tabela 6, apresenta-se o resumo do número de elementos calculados para o projeto, conforme detalhado na Seção 3.1. Esta tabela fornece um panorama conciso de todos os valores essenciais relacionados ao projeto em análise.

Tabela 6 – Quantitativo de elementos.

Elementos	Quantitativo
Quantidade de Residências	743
Número de possíveis clientes	260
Tamanho da célula	17
Número de CTOs	44
Número de CEOs	6

Fonte: Próprio Autor, 2023.

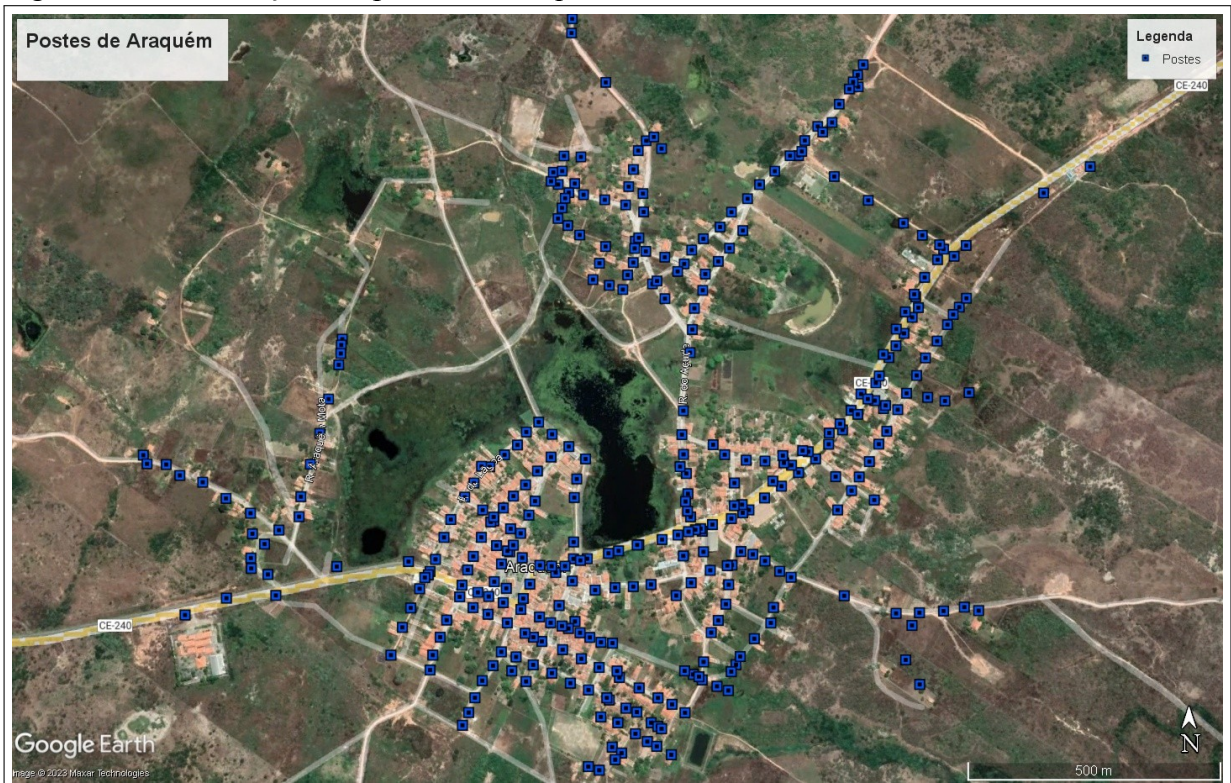
### 3.3 Procedimentos Práticos do Projeto

Nesta seção, detalharemos minuciosamente as etapas práticas envolvidas na implementação de uma rede óptica do tipo FTTH. Para facilitar o planejamento e execução, a ferramenta *Google Earth* desempenha um papel fundamental como suporte na elaboração do projeto. A partir do mapeamento geoespacial e da configuração das estruturas-chave, demonstraremos o passo a passo que direciona a concretização bem-sucedida desse projeto.

### 3.3.1 Coleta dos Postes

Na etapa de coleta dos postes, realizou-se uma busca em campo para obter as coordenadas geográficas exatas de todos os postes que comporiam a infraestrutura do projeto FTTH. Esse processo envolveu o uso de aplicativos *Global Positioning System* (GPS) para registrar a localização de cada poste, e as informações coletadas foram posteriormente integradas ao *software Google Earth*, como mostrado na Figura 38. Esse mapeamento geoespacial forneceu uma base sólida para a implementação do projeto, garantindo a exatidão das informações e a localização dos pontos-chave da infraestrutura.

Figura 38 – Localização dos postes de Araquém.



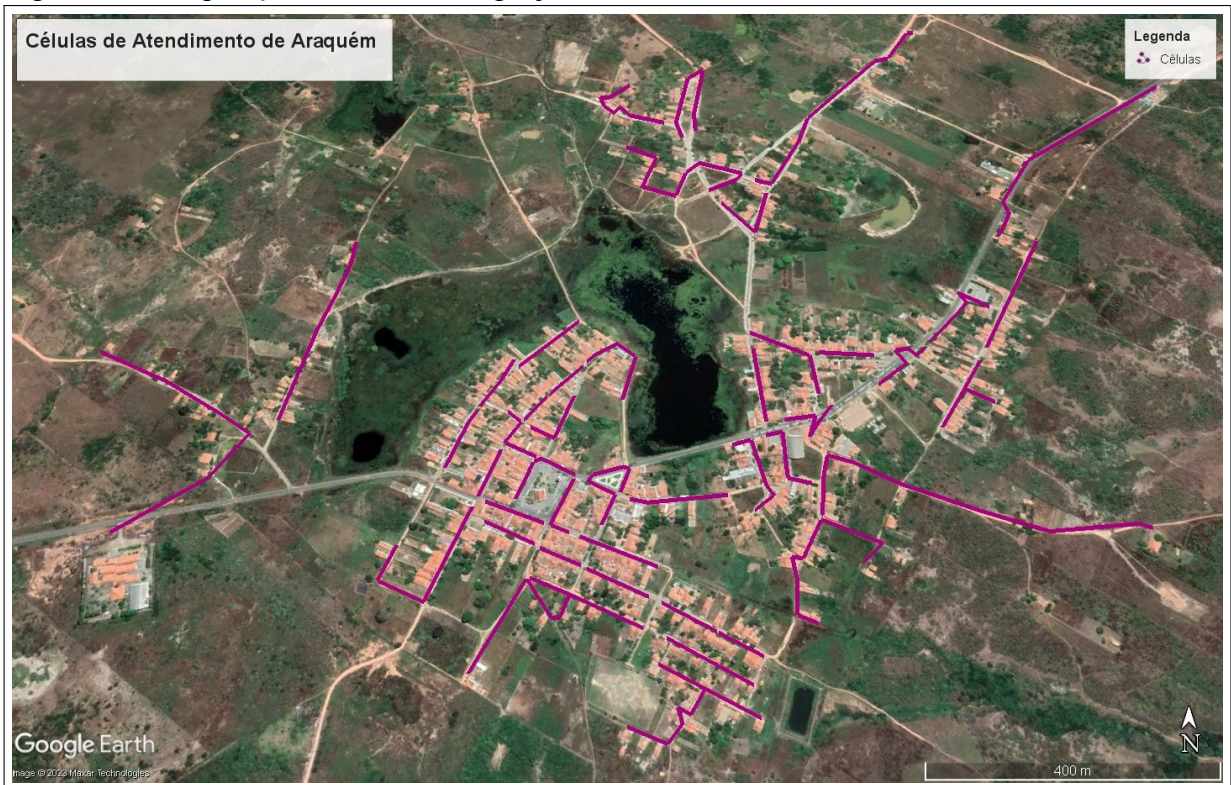
Fonte: Google Earth, 2023.

### 3.3.2 Definição das Células de Atendimento

A definição das células de atendimento é uma etapa crucial no planejamento do projeto FTTH. Com base nas especificações estabelecidas anteriormente, as células foram dimensionadas com um tamanho padrão de 17. Essas células representam unidades na organização da rede, e sua disposição adequada dentro da localidade é essencial para uma cobertura eficiente. A Figura 39 ilustra graficamente a configuração dessas células, na qual cada traçado roxo se refere

a uma célula do projeto, oferecendo assim, uma representação visual da estrutura planejada.

Figura 39 – Disposição das células no projeto



Fonte: Google Earth, 2023.

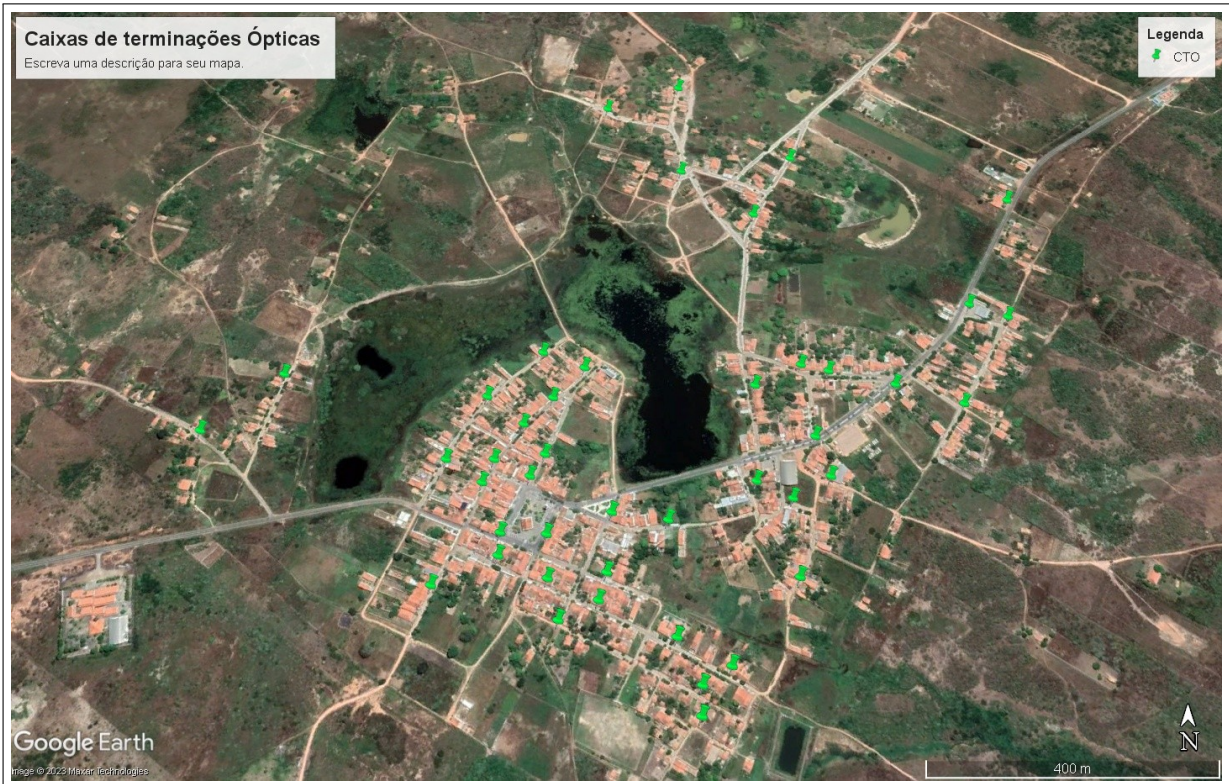
### 3.3.3 Localização das CTOs

A localização das CTOs é um passo crítico no projeto FTTH. A quantidade de CTOs é diretamente relacionada ao tamanho das células calculado anteriormente, e cada célula é projetada para acomodar uma caixa de atendimento. A localização das CTOs é planejada para otimizar a eficiência do projeto. Isso envolve posicionar as CTOs em áreas com maior densidade de residências e clientes potenciais, reduzindo os custos associados aos cabos *drops*. Quando a densidade residencial é uniforme em uma célula, a CTO é centralizada para maximizar a conectividade. A Figura 40 fornece uma representação visual dessa estratégia de localização, onde os pontos verdes indicam a localização de cada uma das 44 CTOs.

### 3.3.4 Localização das CEOs

A quantidade de CEOs foi definida na subseção 3.1.4, e a sua localização deve ser baseada na quantidade de CTOs que esta estará conectada. Como foi escolhido *splitter* de 1x8,

Figura 40 – Alocação geográfica das CTOs.



Fonte: Google Earth, 2023.

assim cada caixa de emenda deve estar localizada de forma que facilite a conexão com 8 CTOs. Na Figura 41 é mostrada a localização das 6 CEOs definidas no projeto.

### 3.3.5 *Percurso do Cabo Backbone*

O cabo *backbone* é a espinha dorsal da rede FTTH, responsável por interligar todas as CEOs a OLT. Qualquer falha ou defeito nesse cabo pode ter impactos significativos na operação da rede, dependendo da sua localização. Portanto, a definição do percurso do cabo *backbone* é uma etapa crítica no planejamento do projeto. A Figura 42 oferece uma visão detalhada desse percurso, realçando sua importância na infraestrutura geral da rede e ressaltando a necessidade de planejamento e manutenção criteriosos para garantir o funcionamento confiável da rede.

### 3.3.6 *Rede de Distribuição*

A rede de distribuição é a parte responsável por interligar as caixas de emendas às caixas de atendimento, ou seja, levar o sinal das CEOs até as CTOs. A Figura 43 mostra a rede de distribuição projetada para Araquém.

Figura 41 – Alocação geográfica das CEOs.

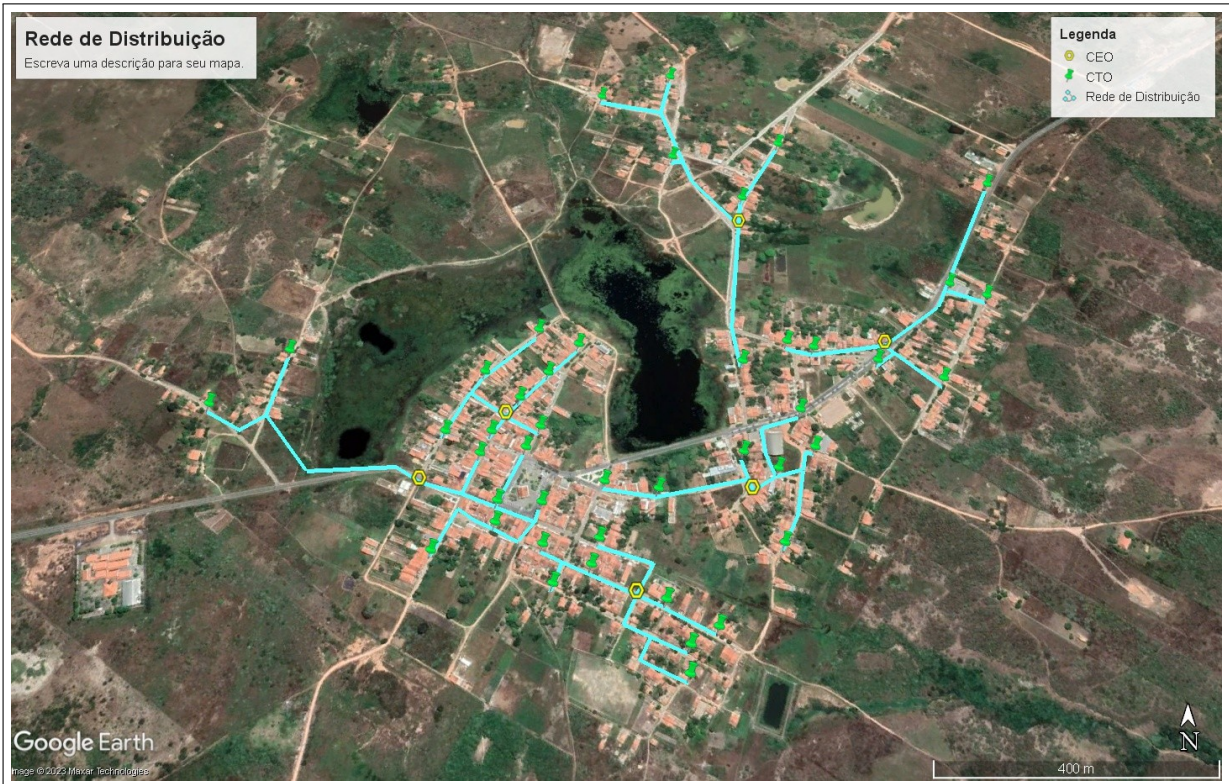


Fonte: Google Earth, 2023.

Figura 42 – Rota do cabo *Backbone*.

Fonte: Google Earth, 2023.

Figura 43 – Rota dos cabos de distribuição.



Fonte: Google Earth, 2023.

### 3.3.7 Rede de Atendimento

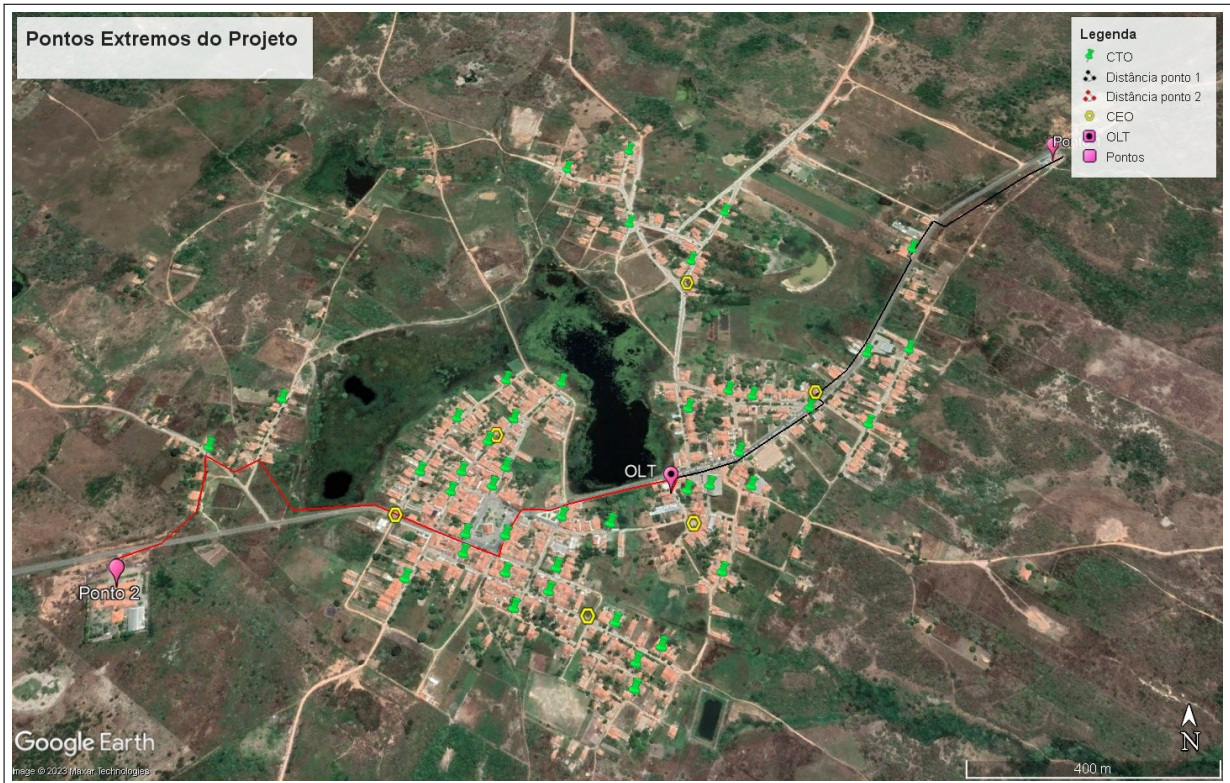
A rede de atendimento constitui a etapa final da FTTH. Neste estágio, os clientes são conectados à rede por meio de um cabo *drop* que estabelece a ligação entre a CTO e a ONU localizada na residência do cliente. Para ilustrar a importância dessa etapa e os possíveis prejuízos decorrentes de problemas na rede de atendimento, podemos considerar o seguinte exemplo: Em um cenário hipotético, um cabo *drop* apresenta defeitos ou falhas devido a desgaste ou má instalação. Isso pode resultar em interrupções no serviço de conectividade para o cliente, afetando negativamente sua experiência de uso da rede FTTH. Além disso, a identificação e correção dessas falhas na rede de atendimento podem envolver custos adicionais e tempo de inatividade, impactando a eficiência operacional e a satisfação do cliente. Portanto, garantir a qualidade e confiabilidade da rede de atendimento é fundamental para evitar tais inconveniências.

### 3.3.8 Cálculo do Orçamento de Potência

No cálculo do orçamento de potência, foram selecionados dois pontos, que representam possíveis clientes, localizados à maior distância da OLT. Como resultado, esses pontos enfrentarão a maior atenuação do sinal a ser recebido. A Figura 44 ilustra a localização desses

pontos e a rota da fibra óptica até os mesmos.

Figura 44 – Distância entre a OLT e a ONU do usuário mais afastado.



Fonte: Google Earth, 2023.

### 3.3.8.1 Avaliação de Clientes Distantes - Ponto 1

No cálculo de orçamento de potência é utilizada a equação 3.5 vista anteriormente. Inicialmente calcularemos o valor de cada termo da equação separadamente e depois substituímos os valores na mesma. Começamos calculando a perda na fibra óptica, para isto é preciso saber a distância do ponto escolhido até a OLT, que neste caso é de aproximadamente 1240 metros. Em seguida, saber o tipo de fibra que será utilizado no projeto que neste caso é fibra multimodo e saber em que comprimento de onda a fibra irá operar, e logo após se obterá qual é o coeficiente de atenuação do cabo óptico ao qual será utilizado, este valor pode ser obtido na Tabela 3. Assim tem-se que a perda na fibra óptica é de:

$$A_{FO} = 1,24 \times 3,5 = 4,34 \text{ dB.} \quad (3.7)$$

Agora calculando a perda nos conectores, no caso destes a perda é dada por par de conectores, considerando que haverá dois pares de conectores SC/PC entre a OLT e o ponto 1. Utilizando a Tabela 5 como valores de referência para o cálculo, e adotando o valor típico de

perda, então tem-se que a perda nos conectores é de:

$$P_C = 2 \times 0,3 = 0,6 \text{ dB.} \quad (3.8)$$

Em seguida, para o cálculo da perda nas emendas, deve-se levar em consideração o tipo de emenda que será feita e a quantidade destas. Neste caso será admitido quatro emendas por fusão, logo tem-se que a perda nas emendas por valor médio dado na Tabela 4 é de:

$$P_E = 4 \times 0,15 = 0,6 \text{ dB.} \quad (3.9)$$

Consequente, calculando a perda nos elementos passivos, ou seja, nos *splitters*, visto que entre a OLT e o ponto em questão a rede possui dois *splitters* de ordem 1:8, com os valores de perdas definido na Tabela 1, portanto a perda total dos divisores ópticos é de:

$$P_P = 2 \times 10,5 = 21 \text{ dB.} \quad (3.10)$$

Além disso, será considerado uma margem de segurança de 3 dB. A mesma desempenha um papel de extrema importância na garantia de uma comunicação confiável. Ela se torna evidente ao considerarmos o seguinte cenário: caso a potência de saída do transmissor seja ligeiramente reduzida devido a variações na rede ou interferências, ainda permanecerá uma reserva de 3 dB em relação à sensibilidade do receptor. Essa margem desempenha o papel fundamental de assegurar que a comunicação continue ininterrupta, mesmo sob condições menos que as ideais, garantindo que o sinal recebido pelo receptor permaneça acima do limite mínimo de detecção.

Para realizar o cálculo do orçamento de potência, é imperativo possuir informações precisas sobre a potência de saída do transmissor e a sensibilidade do receptor. No contexto deste projeto, é adotado o valor mais desafiador da potência de saída, que é de +2 dBm, em conjunto com uma sensibilidade do receptor de -28 dBm. Ao inserir esses valores na equação 3.5, obtém-se o resultado necessário para o cálculo do orçamento de potência:

$$P_{TX} - A_{FO} - P_C - P_E - P_P - M_S - S_{RX} > 0 \quad (3.11)$$

$$2 \text{ dBm} - 29,54 \text{ dB} - (-28 \text{ dBm}) > 0 \quad (3.12)$$

$$30 \text{ dBm} - A_T > 0 \quad (3.13)$$

$$0,46 \text{ dBm} > 0 \quad (3.14)$$

O resultado equivalente pode ser alcançado utilizando a equação 3.6, na qual a atenuação total é representada por  $A_T = -29,54$  dB. Consequentemente,  $-27,54$  dBm  $>$   $-28$  dBm, reafirmando a preservação da margem de potência necessária para garantir a comunicação confiável.

### 3.3.8.2 Avaliação de Clientes Distantes - Ponto 2

Agora repetindo o mesmo procedimento feito para o ponto 1 para o ponto 2, observa-se que no entanto o único parâmetro que possuirá um valor diferente para este ponto será o da perda na fibra, pois a distância do ponto em questão até a OLT do projeto nesta situação agora é de 1300 metros. Logo a perda na fibra óptica neste caso é de

$$A_{FO} = 1,30 \times 3,5 = 4,55 \text{ dB} \quad (3.15)$$

Considerando uma margem de segurança também de 3 dB. Neste projeto a potência de saída para o pior caso é +2 dBm e a sensibilidade do receptor é de -28 dBm. Assim, substituindo os valores obtidos na equação 3.5 do orçamento de potência obtemos

$$2 \text{ dBm} - 4,55 \text{ dB} - 0,6 \text{ dB} - 0,6 \text{ dB} - 21 \text{ dB} - 3 \text{ dB} - (-28 \text{ dBm}) > 0 \quad (3.16)$$

$$2 \text{ dBm} - 29,75 \text{ dB} - (-28 \text{ dBm}) > 0 \quad (3.17)$$

$$30 \text{ dBm} - 29,75 \text{ dB} > 0 \quad (3.18)$$

$$0,25 \text{ dBm} > 0 \quad (3.19)$$

Desse modo é possível perceber que os pontos extremos do projetos estão recebendo sinal dentro dos níveis adequados de detecção, logo os pontos que estão mais próximos possuem menos atenuações, e consequentemente recebem sinal também dentro dos níveis adequados para sua correta detecção.

### 3.3.9 Plano de Fusão

O plano de fusão de rede é a logística de como será implementada na prática todas as fusões ópticas, em outros termos, se trata de cada fusão que será elaborada para ativar cada elemento da rede. Um fator muito importante a se levar em consideração quando se refere a cabos ópticos é o seu padrão de organização da fibras internas, como cores e números. A Figura 45 exhibe dois padrões de cores, na qual o primeiro se refere a norma da ABNT utilizada no Brasil

e o segundo a TIA/EIA598-A. No apêndice A está detalhado o plano de fusão do projeto em questão, na qual foi utilizado o padrão brasileiro de cores.

Figura 45 – Padrão de cores utilizados em fibras ópticas.

Fibra	Cor – Padrão ABNT	Cor - Padrão 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	Preto
9	Preto	Amarelo
10	Cinza	Violeta
11	Laranja	Rosa
12	Aqua	Aqua

Fonte: Couto (s.d.).

Tão importante quanto conhecer os padrões de cores de fibra é a numeração correta dos *tubos loose*. A Figura 46 exibe dois padrões de numeração, na qual o primeiro se refere a norma da ABNT utilizada no Brasil e o segundo a TIA/EIA598-A.

Figura 46 – Código de cores de *tubos loose* padrão ABNT e EIA598-A.

Grupo	Cor – Padrão ABNT	Cor - Padrão EIA598-A
1	Verde	Azul
2	Amarelo	Laranja
3	Branco	Verde
4	Branco	Marrom
5	Branco	Cinza
6	Branco	Branco
7	Branco	Vermelho
8	Branco	Preto
9	Branco	Amarelo
10	Branco	Violeta
11	Branco	Rosa
12	Branco	Aqua

Fonte: Couto (s.d.).

#### 4 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Durante este trabalho, foram explorados os princípios que regem a transmissão por meio de fibras ópticas, compreendendo os fenômenos da luz e seu comportamento dentro dessas fibras, juntamente com as características intrínsecas desses materiais. Além disso, foi realizado um estudo sobre os tipos de redes ópticas, com destaque para as PONs, incluindo seus componentes. O trabalho foi concluído com a elaboração de um projeto de uma rede GPON FTTH.

A realização deste trabalho proporcionou uma base sólida de entendimento sobre fibra óptica e redes passivas, preenchendo lacunas de conhecimento anteriormente existentes e consolidando um novo nível de compreensão. Considerando futuras etapas, alguns trabalhos podem envolver a precificação de planos de serviços oferecidos pela rede, considerando fatores econômicos como custos de operação, investimentos iniciais e margens de lucro desejadas.

Além disso, seria valioso realizar análises de viabilidade econômica, como cálculos de *payback* (tempo necessário para recuperar o investimento inicial) e *breakeven* (ponto em que os custos se igualam às receitas), para avaliar a sustentabilidade financeira do projeto de implementação da rede óptica. Essas análises poderiam ser fundamentais na tomada de decisões estratégicas, fornecendo informações importantes para gestores sobre a rentabilidade e o retorno do investimento ao longo do tempo.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. L. S. **Proposta de Rede GPON Usando PSO**. Sobral-CE: [S. n.], 2022.
- ALBUQUERQUE, A. M. **Projeto e análise de uma rede GPON**. Sobral-CE: Universidade-Federal-do-Ceará, 2018.
- ALVES, E. S. **6. Refração da luz**. s.d. Disponível em: <http://demonstracoes.fisica.ufmg.br/artigos/ver/83/6.-Refracao-da-luz>. Acesso em: 28 set. 2023.
- AMAZONAS, J. R. A. **Projeto de Sistemas de Comunicações Ópticas**. 1. ed. Barueri - SP: 2005, 2005.
- ANATEL. **Agência Nacional de Telecomunicações**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br>. Acesso em: 06 nov. 2023.
- ARAÚJO, F. H. V. **Projeto de uma rede GPON FTTh implantada na cidade de Santana do Acaraú**. 2019.
- BERTIN, B. H. N. A. G. C. **Redes Ópticas I: Redes de Dados Domésticas**. 2016. Disponível em: [https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialfibraplast1/pagina\\_3.asp](https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialfibraplast1/pagina_3.asp). Acesso em: 27 set. 2023.
- BRASIL, I. B. **Breve introdução às Redes AON e PON: Escolhendo o melhor modelo FTTH**. 2020. Disponível em: <https://www.iperiusbackup.net/pt-br/breve-introducao-as-redes-aon-e-pon-escolhendo-o-melhor-modelo-ftth/>. Acesso em: 30 out. 2023.
- CABLEMATIC. **Cabo de fibra óptica SC / PC para SC / APC 5m mono-modo simplex 9/125**. s.d. Disponível em: <https://cablematic.com/en/products/fiber-optic-cable-sc-pc-to-sc-apc-5m-single-mode-simplex-9125-FL015/>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- CASTRO, M. C. F. **1. Sistemas de Comunicação Celular – Overview**. 2017. Disponível em: <https://www.fccdecastro.com.br/pdf/ASCCC.pdf>. Acesso em: 27 set. 2023.
- COUTO, R. **Código de cores em fibras ópticas**. s.d. Disponível em: <https://www.infranewstelecom.com.br/codigo-de-cores-em-fibras-opticas/>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- CRUZ, D. **Orçamento de Potência óptica: Planeje sua rede GPON e evite problemas!** 2019. Disponível em: <https://www.datacom.com.br/pt/blog/18/orcamento-de-potencia-optica-planeje-sua-rede-gpon-e-evite-problemas->. Acesso em: 24 out. 2023.
- DUARTE, M. **Conexão que vem do espaço: como funciona a internet via satélite?** São Paulo: [S. n.], 2023. Disponível em: <https://www.uol.com.br/tilt/noticias/redacao/2023/04/23/como-e-a-conexao-por-satelite-do-espaco.htm>. Acesso em: 26 set. 2023.
- FERREIRA, C. **Fibras Ópticas**. 2013. Disponível em: [https://www.projeteredes.com.br/artigos/artigo\\_fibras\\_opticas.php](https://www.projeteredes.com.br/artigos/artigo_fibras_opticas.php). Acesso em: 26 out. 2023.
- FIBRACEM. **COMO É FEITA A EMENDA DE UMA FIBRA ÓPTICA**. 2021. Disponível em: <https://www.fibracem.com/como-e-feita-a-emenda-de-uma-fibra-optica/>. Acesso em: 27 out. 2023.

FOROUZAN, B. A. **Comunicação de dados e redes de computadores**. 4. ed. Porto Alegre - RS: 2010, 2010.

FURUKAWA. **CAIXA DE EMENDA ÓPTICA PARA APLICAÇÃO AÉREA - FK-CEO-4T**. s.d. Disponível em: <https://www.furukawalatam.com/pt-br/catalogo-de-produtos-detalhes/caixa-de-emenda-optica-para-aplicacao-aerea---fk-ceo-4t>. Acesso em: 25 out. 2023.

FURUKAWA. **CAIXA DE TERMINAÇÃO ÓPTICA CTO 16 MT 1X16 - PRETA**. s.d. Disponível em: <https://www.efurukawa.com/br/p/caixa-de-terminacao-optica-cto-16-mt-1x16-preta/35520556>. Acesso em: 25 out. 2023.

FURUKAWA. **DISTRIBUIDOR INTERNO ÓPTICO BT48**. s.d. Disponível em: <https://www.furukawalatam.com/pt-br/catalogo-de-produtos-detalhes/distribuidor-interno-optico-bt48>. Acesso em: 23 out. 2023.

GONÇALVES, A. M. **Análise da Propagação de Impulsos em Fibras Ópticas**. Dissertação (mathesis) – Universidade de Técnica de Lisboa, abr. 2012.

INTELBRAS. **OLT 8820**. s.d. Disponível em: <https://backend.intelbras.com/sites/default/files/2023-04/DatasheetOLT8820I01.2021V2.pdf>. Acesso em: 23 out. 2023.

INTELBRAS. **Splitter Óptico 1x8 com conector SC/APC Balanceado**. s.d. Disponível em: <https://www.intelbras.com/pt-br/splitter-optico-1x8-com-conector-sc-afc-balanceado-xf-182>. Acesso em: 24 out. 2023.

IX.BR. **Tráfego total (Todos IX.br)**. 2023. Disponível em: <https://ix.br/agregado/>. Acesso em: 08 nov. 2023.

KEISER, G. **Comunicações por fibras ópticas**. 4. ed. Porto Alegre - RS: 2014, 2014.

LUIZA, M. **ONU Gpon Mini AN5506-01A Bridge Fiberhome**. s.d. Disponível em: <https://www.magazineluiza.com.br/onu-gpon-mini-an5506-01a-bridge-fiberhome/p/hd8b68j5hg/in/gpon/>. Acesso em: 25 out. 2023.

MARELLATO, F. **Polimento de Conectores Ópticos**. 2018. Disponível em: <https://www.blog.ipv7.com.br/polimento-de-conectores-opticos/>. Acesso em: 30 out. 2023.

MASCHIETTO, L. C. **FIBRA ÓPTICA: TIPOS DE REDES FTTx E SUAS ARQUITETURAS**. 2019. Disponível em: <https://leandromaschietto.blogspot.com/2019/07/fibra-optica-tipos-de-redes-fttx-e-suas.html>. Acesso em: 30 out. 2023.

MENDES, A. L. O. S. E. S. **Redes híbridas (ópticas e sem fio): Um levantamento conciso de possibilidades de arquiteturas de redes para cidades inteligentes**. 2021.

MUNIZ, G. D. M. K. M. C. R. H. O. C. **Tecnologias de Rede em Telefonia Móvel**. 2010. Disponível em: [https://www.gta.ufjf.br/grad/10\\_1/movel/caracteristicas.html](https://www.gta.ufjf.br/grad/10_1/movel/caracteristicas.html). Acesso em: 27 set. 2023.

NET, F. **O que é Internet Via Rádio?** 2016. Site. Disponível em: <https://www.filenonet.com.br/tecnologia/>. Acesso em: 26 set. 2023.

PINHEIRO, J. M. S. **Redes Ópticas de Alto Desempenho**. 2010. Disponível em: [https://www.projetederedes.com.br/artigos/artigo\\_redes\\_opticas\\_alto\\_desempenho.php](https://www.projetederedes.com.br/artigos/artigo_redes_opticas_alto_desempenho.php). Acesso em: 30 out. 2023.

PINHEIRO, J. M. S. **Redes Ópticas de Acesso em Telecomunicações**. 1. ed. Rio de Janeiro: [S. n.], 2017.

POZZEBOM, R. **O que é cabo coaxial?** 2013. Disponível em: <https://www.oficinadanet.com.br/post/10155-o-que-e-cabo-coaxial>. Acesso em: 27 set. 2023.

RUÍZ, E. R. **Fundamentos de las Fibras Ópticas**. s.d. Disponível em: <https://fibraoptica.blog.tartanga.es/fundamentos-de-las-fibras-opticas/>. Acesso em: 30 out. 2023.

SILVA, E. **Implantação de uma rede de acesso GPON**. Curitiba: [S. n.], 2012.

SINDIFIBRAS. **Quanto custa máquina de fusão de fibra óptica**. s.d. Disponível em: <https://www.sindifibra.com.br/produtos/maquinas-de-fusao-de-fibras/quanto-custa-maquina-de-fusao-de-fibra-optica>. Acesso em: 27 out. 2023.

SOARES, P. A. **Proposta Metodológica para Projetos em Redes Ópticas Passivas (PON)**. Palhoça-SC: [S. n.], 2020.

TRANSCORTEC. **1. Cabeamentos Conexões**. s.d. Disponível em: <http://www.transcortec2.com.br/info.htm>. Acesso em: 30 set. 2023.

VSOL. **FTTH: AON vs PON, qual é a diferença?** 2022. Disponível em: <https://www.vsolcn.com/blog/aon-vs-pon.html>. Acesso em: 30 out. 2023.

## APÊNDICE A – PLANO DE FUSÃO

### CEO 03 – Ramal 03

Fibra verde do *backbone* 01 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de emenda (CEO 03).

#### Cabo 1, 6 Fibra Óptica (FO): 3 Reservas

- A saída 01 do *splitter* da (CEO 03) faz fusão com a fibra verde do Cabo 1 do Ramal 03. A saída da fibra verde do Cabo 1 do Ramal 03 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 26).

- A saída 02 do *splitter* da (CEO 03) faz fusão com a fibra amarela do Cabo 1 do Ramal 03. A saída da fibra amarela do Cabo 1 do Ramal 03 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 16).

- A saída 03 do *splitter* da (CEO 03) faz fusão com a fibra branca do Cabo 1 do Ramal 03. A saída da fibra branca do Cabo 1 do Ramal 03 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 17).

#### Cabo 2, 8 FO: 4 Reservas

- A saída 04 do *splitter* da (CEO 03) faz fusão com a fibra verde do Cabo 2 do Ramal 03. A saída da fibra verde do Cabo 2 do Ramal 03 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 27).

- A saída 05 do *splitter* da (CEO 02) faz fusão com a fibra amarela do Cabo 2 do Ramal 03. A saída da fibra amarela do Cabo 2 do Ramal 03 faz fusão com a fibra verde do Cabo 3 na caixa de terminação óptica (CTO 27).

- A saída 06 do *splitter* da (CEO 02) faz fusão com a fibra branca do Cabo 2 do Ramal 03. A saída da fibra branca do Cabo 2 do Ramal 03 faz fusão com a fibra verde do Cabo 4 na caixa de terminação óptica (CTO 27).

- A saída 07 do *splitter* da (CEO 02) faz fusão com a fibra azul do Cabo 2 do Ramal 03. A saída da fibra azul do Cabo 2 do Ramal 03 faz fusão com a fibra amarela do Cabo 4 na caixa de terminação óptica (CTO 27).

#### Cabo 3, 2 FO: 1 Reserva

- A saída da fibra verde do Cabo 3 do Ramal 03 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 29).

#### Cabo 4, 4 FO: 2 Reservas

- A saída da fibra verde do Cabo 4 do Ramal 03 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 25).

- A saída da fibra amarela do Cabo 4 do Ramal 03 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 24).

#### **CEO 02 – Ramal 02**

Fibra amarela do *backbone* 01 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de emenda (CEO 02).

#### **Cabo 1, 4 FO: 2 Reservas**

- A saída 01 do *splitter* da (CEO 02) faz fusão com a fibra verde do Cabo 1 do Ramal 02. A saída da fibra verde do Cabo 1 do Ramal 01 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de atendimento óptico (CTO 31).

- A saída 02 do *splitter* da (CEO 02) faz fusão com a fibra amarela do Cabo 1 do Ramal 02. A saída da fibra amarela do Cabo 1 do Ramal 02 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 30).

#### **Cabo 2, 4 FO: 2 Reservas**

- A saída 03 do *splitter* da (CEO 02) faz fusão com a fibra verde do Cabo 2 do Ramal 02. A saída da fibra verde do Cabo 1 do Ramal 01 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 33).

- A saída 04 do *splitter* da (CEO 02) faz fusão com a fibra amarela do Cabo 2 do Ramal 02. A saída da fibra amarela do Cabo 2 do Ramal 02 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 32).

#### **Cabo 3, 6 FO: 3 Reservas**

- A saída 05 do *splitter* da (CEO 02) faz fusão com a fibra verde do Cabo 3 do Ramal 02. A saída da fibra verde do Cabo 3 do Ramal 02 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 34).

- A saída 06 do *splitter* da (CEO 02) faz fusão com a fibra amarela do Cabo 3 do Ramal 02. A saída da fibra amarela do Cabo 3 do Ramal 02 faz fusão com a fibra verde do Cabo 4 na caixa de terminação óptica (CTO 34).

- A saída 07 do *splitter* da (CEO 02) faz fusão com a fibra branca do Cabo 3 do Ramal 02. A saída da fibra branca do Cabo 3 do Ramal 02 faz fusão com a fibra verde do Cabo 5 na caixa de terminação óptica (CTO 34).

#### **Cabo 4, 2 FO: 1 Reserva**

- A saída da fibra verde do Cabo 4 do Ramal 02 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 35).

**Cabo 5, 2 FO: 1 Reserva**

- A saída da fibra verde do Cabo 5 do Ramal 02 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 01).

**CEO 01 – Ramal 01**

Fibra branca do *backbone* 01 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de emenda (CEO 01).

**Cabo 1, 4 FO: 2 Reservas**

- A saída 01 do *splitter* da (CEO 01) faz fusão com a fibra verde do Cabo 1 do Ramal 01. A saída da fibra verde do Cabo 1 do Ramal 01 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 36).

- A saída 02 do *splitter* da (CEO 01) faz fusão com a fibra amarela do Cabo 1 do Ramal 01. A saída da fibra amarela do Cabo 1 do Ramal 01 faz fusão com a entrada do *splitter* da terminação óptica (CTO 37).

**Cabo 2, 2 FO: 1 Reserva**

- A saída 03 do *splitter* da (CEO 01) faz fusão com a fibra verde do Cabo 2 do Ramal 01. A saída da fibra verde do Cabo 2 do Ramal 01 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 28).

**Cabo 3, 6 FO: 3 Reservas**

- A saída 04 do *splitter* da (CEO 01) faz fusão com a fibra verde do Cabo 3 do Ramal 01. A saída da fibra verde do Cabo 3 do Ramal 01 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 38).

- A saída 05 do *splitter* da (CEO 01) faz fusão com a fibra amarela do Cabo 3 do Ramal 01. A saída da fibra amarela do Cabo 3 do Ramal 01 faz fusão com a fibra verde do Cabo 4 na caixa de terminação óptica (CTO 38).

- A saída 06 do *splitter* da (CEO 01) faz fusão com a fibra branca do Cabo 3 do Ramal 01. A saída da fibra branca do Cabo 3 do Ramal 01 faz fusão com a fibra amarela do Cabo 4 na caixa de terminação óptica (CTO 38).

**Cabo 4, 4 FO: 2 Reservas**

- A saída da fibra verde do Cabo 4 do Ramal 01 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 39).

- A saída da fibra amarela do Cabo 4 do Ramal 01 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 40).

#### **CEO 06 – Ramal 06**

Fibra verde do *backbone* 02 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de emenda (CEO 06).

#### **Cabo 1, 4 FO: 2 Reservas**

- A saída 01 do *splitter* da (CEO 06) faz fusão com a fibra verde do Cabo 1 do Ramal 06. A saída da fibra verde do Cabo 1 do Ramal 06 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 20).

- A saída 02 do *splitter* da (CEO 06) faz fusão com a fibra amarela do Cabo 1 do Ramal 06. A saída da fibra amarela do Cabo 1 do Ramal 06 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 22).

- A saída 03 do *splitter* da (CEO 06) faz fusão com a fibra verde do Cabo 1 do Ramal 06. A saída da fibra verde do Cabo 1 do Ramal 06 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 23).

#### **Cabo 2, 2 FO: 2 Reservas**

- A saída 04 do *splitter* da (CEO 06) faz fusão com a fibra verde do Cabo 2 do Ramal 06. A saída da fibra verde do Cabo 2 do Ramal 06 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 44).

#### **Cabo 3, 2 FO: 1 Reserva**

- A saída 05 do *splitter* da (CEO 06) faz fusão com a fibra verde do Cabo 3 do Ramal 06. A saída da fibra verde do Cabo 3 do Ramal 06 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 06).

#### **Cabo 4, 6 FO: 3 Reserva**

- A saída 06 do *splitter* da (CEO 06) faz fusão com a fibra verde do Cabo 4 do Ramal 06. A saída da fibra verde do Cabo 4 do Ramal 06 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 18).

- A saída 07 do *splitter* da (CEO 06) faz fusão com a fibra amarela do Cabo 4 do Ramal 06. A saída da fibra verde do Cabo 4 do Ramal 06 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 19).

- A saída 08 do *splitter* da (CEO 06) faz fusão com a fibra branca do Cabo 4 do Ramal 06. A saída da fibra verde do Cabo 4 do Ramal 06 faz fusão com a entrada do *splitter* da

caixa de terminação óptica (CTO 21).

**CEO 05 – Ramal 05**

Fibra amarela do *backbone* 02 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de emenda (CEO 05).

**Cabo 1, 4 FO: 2 Reservas**

- A saída 01 do *splitter* da (CEO 05) faz fusão com a fibra verde do Cabo 1 do Ramal 05. A saída da fibra verde do Cabo 1 do Ramal 05 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 41).

- A saída 02 do *splitter* da (CEO 05) faz fusão com a fibra amarela do Cabo 1 do Ramal 05. A saída da fibra amarela do Cabo 1 do Ramal 05 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 42).

**Cabo 2, 10 FO: 4 Reservas**

- A saída 03 do *splitter* da (CEO 05) faz fusão com a fibra verde do Cabo 2 do Ramal 05. A saída da fibra verde do Cabo 2 do Ramal 05 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 04).

- A saída 04 do *splitter* da (CEO 05) faz fusão com a fibra amarela do Cabo 2 do Ramal 05. A saída da fibra amarela do Cabo 2 do Ramal 05 faz fusão com a fibra verde do Cabo 3 na caixa de terminação óptica (CTO 04).

- A saída 05 do *splitter* da (CEO 05) faz fusão com a fibra branca do Cabo 2 do Ramal 05. A saída da fibra branca do Cabo 2 do Ramal 05 faz fusão com a fibra verde do Cabo 4 na caixa de terminação óptica (CTO 04).

- A saída 06 do *splitter* da (CEO 05) faz fusão com a fibra azul do Cabo 2 do Ramal 05. A saída da fibra azul do Cabo 2 do Ramal 05 faz fusão com a fibra verde do Cabo 5 na caixa de terminação óptica (CTO 04).

- A saída 07 do *splitter* da (CEO 05) faz fusão com a fibra vermelho do Cabo 2 do Ramal 05. A saída da fibra vermelho do Cabo 2 do Ramal 05 faz fusão com a fibra amarela do Cabo 5 na caixa de terminação óptica (CTO 04).

- A saída 08 do *splitter* da (CEO 05) faz fusão com a fibra violeta do Cabo 2 do Ramal 05. A saída da fibra violeta do Cabo 2 do Ramal 05 faz fusão com a fibra branca do Cabo 5 na caixa de terminação óptica (CTO 04).

**Cabo 3, 2 FO: 1 Reserva**

- A saída da fibra verde do Cabo 3 do Ramal 05 faz fusão com a entrada do *splitter*

da caixa de terminação óptica (CTO 02).

**Cabo 4, 2 FO: 1 Reserva**

- A saída da fibra verde do Cabo 3 do Ramal 05 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 02).

**Cabo 5, 6 FO: 3 Reservas**

- A saída da fibra verde do Cabo 5 do Ramal 05 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 11).

- A saída da fibra amarela do Cabo 5 do Ramal 05 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 07).

- A saída da fibra branca do Cabo 5 do Ramal 05 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 03).

**CEO 04 – Ramal 04**

Fibra branca do *backbone* 02 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de emenda (CEO 04).

**Cabo 1, 6 FO: 3 Reservas**

- A saída 01 do *splitter* da (CEO 04) faz fusão com a fibra verde do Cabo 1 do Ramal 04. A saída da fibra verde do Cabo 1 do Ramal 04 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 10).

- A saída 02 do *splitter* da (CEO 04) faz fusão com a fibra amarela do Cabo 1 do Ramal 04. A saída da fibra amarela do Cabo 1 do Ramal 04 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 08).

- A saída 03 do *splitter* da (CEO 04) faz fusão com a fibra azul do Cabo 1 do Ramal 04. A saída da fibra amarela do Cabo 1 do Ramal 04 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 09).

**Cabo 2, 2 FO: 1 Reserva**

- A saída 04 do *splitter* da (CEO 04) faz fusão com a fibra verde do Cabo 1 do Ramal 04. A saída da fibra verde do Cabo 1 do Ramal 04 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 12).

**Cabo 3, 4 FO: 2 Reservas**

- A saída 05 do *splitter* da (CEO 04) faz fusão com a fibra verde do Cabo 3 do Ramal 04. A saída da fibra verde do Cabo 3 do Ramal 04 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 13).

- A saída 06 do *splitter* da (CEO 04) faz fusão com a fibra amarela do Cabo 3 do Ramal 04. A saída da fibra amarela do Cabo 3 do Ramal 04 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 14).

**Cabo 4, 4 FO: 2 Reservas**

- A saída 07 do *splitter* da (CEO 04) faz fusão com a fibra verde do Cabo 4 do Ramal 04. A saída da fibra verde do Cabo 4 do Ramal 04 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 15).

- A saída 08 do *splitter* da (CEO 04) faz fusão com a fibra amarela do Cabo 4 do Ramal 04. A saída da fibra amarela do Cabo 4 do Ramal 04 faz fusão com a entrada do *splitter* da caixa de terminação óptica (CTO 43).