

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
TELEINFORMÁTICA E REDES DE COMPUTADORES**

**RAFAEL GOES BARRETO**

**REDES FTTx NO BRASIL**

**DISSERTAÇÃO**

**CURITIBA**

**2014**

**RAFAEL GOES BARRETO**

**REDES FTTx NO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Teleinformática e Redes de Computadores da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba, como requisito parcial à obtenção do título de Pós-graduado em Teleinformática e Redes de Computadores.

Orientador: Prof. Dr. Valmir de Oliveira

**CURITIBA**

**2014**

Dedico este trabalho à minha  
família, pelo apoio e encorajamento  
durante esses anos de universidade.

## **AGRADECIMENTOS**

Sou eternamente grato a todos os professores que ensinaram durante esse curso.

## RESUMO

BARRETO, Rafael Goes. **Redes FTTx no Brasil**. 2014. 60 folhas. Monografia do Curso de Especialização em Teleinformática e Redes de Computadores - Universidade Tecnológica do Paraná. Curitiba, 2014.

Atualmente as pessoas estão cada dia mais dependentes da internet e de seus serviços resultando em um mercado cada vez mais exigente que espera mais rapidez e segurança nos dados dos seus fornecedores. A evolução dessas redes só foi possível graças ao melhoramento dos equipamentos de transmissão e do meio utilizado para esta atividade. O objetivo deste trabalho é avaliar estes dois itens e as redes geradas por eles. As redes FTTx que fornecem velocidades cada vez mais rápidas aos usuários, permitem a construção de uma casa inteligente e mais integrada com a rede. Esta tecnologia com a utilização de meios totalmente ópticos ainda está em fase de amadurecimento no Brasil e tem muitos desafios pela frente, porém se superados, irão trazer diversos ganhos ao país.

**Palavras-chave:** Fibra Óptica, Transmissão de dados, Rede FTTx, PON.

## **ABSTRACT**

BARRETO, Rafael Goes. **FTTx networks in Brazil**. 2014. 60 pages. Monograph of the Specialization Course in Teleinformatic and Computer Networks - Universidade Tecnológica do Paraná. Curitiba, 2014.

Nowadays people are increasingly dependent on the internet and its services resulting in an increasingly demanding market that expects more quickness and safe data from the suppliers. The evolution of these networks is only possible due to the improvement of the transmission and the medium used for this activity equipment. The objective of this study is to evaluate these two items and the networks generated by them. The FTTx networks that provides fast downstream and upstream speeds to users, allow an increasingly integrated smart home. This technology with the use of an all optical network is still undergoing maturation in Brazil and still has many challenges ahead but if overcome, will bring many advantages to the country.

**Keywords:** Optic Fiber, Data transmission, FTTx network, PON.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Construção da Fibra óptica .....	20
Figura 2: Fibra Monomodo.....	21
Figura 3: Fibra Multimodo.....	23
Figura 4: Exemplo de uma máquina de fusão .....	24
Figura 5: Exemplos de conectores ópticos .....	24
Figura 6: Exemplo de cabo pré-conectorizado e um conector de campo.....	25
Figura 7: Construção Tubo Loose .....	26
Figura 8: Construção Tight Buffer .....	27
Figura 9: Construção V-Groove.....	28
Figura 10: Construção Ribbon .....	28
Figura 11: Exemplo de um cabo externo autossustentado .....	29
Figura 12: Exemplo de um cabo terminação para dutos com proteção anti-roedor .....	30
Figura 13: Exemplo de um cabo de acesso ( <i>drop</i> ) .....	31
Figura 14: Exemplo de um cabo interno .....	31
Figura 15: Exemplo de um cordão óptico .....	32
Figura 16: Transmissão de dados por fibra óptica.....	34
Figura 17: Exemplo de uma Caixa de Emenda Óptica.....	34
Figura 18: Exemplo de sangria.....	35
Figura 19: Exemplo de uma Caixa de Terminação Óptica.....	36
Figura 20: Exemplo de um Splitter Óptico .....	36
Figura 21: Funcionamento do Splitter Óptico .....	37
Figura 22: Exemplo de um Distribuidor Geral Interno Óptico.....	38
Figura 23: Exemplo de um Distribuidor Interno Óptico .....	38
Figura 24: Exemplo de um Ponto de Terminação Óptico.....	39
Figura 25: Exemplo de PON .....	40
Figura 26: Exemplo de OLT (E-PON e G-PON) .....	41
Figura 27: Exemplo de ONU (E-PON) e ONT (G-PON) .....	41
Figura 28: Exemplo de um repetidor óptico.....	42
Figura 29: Exemplo de uma transmissão WDM.....	42
Figura 30: Exemplo de uma rede FTTH e FTTHA .....	43
Figura 31: Exemplo de rede FTTN .....	44

Figura 32: Exemplo de rede FTTC .....	45
Figura 33: Exemplo de rede FTTB .....	46
Figura 34: Exemplo de rede FTTH .....	47
Figura 35: Exemplos de rede FTTA.....	48
Figura 36: Exemplo de rede centralizada .....	49
Figura 37: Exemplo de rede com convergência local.....	49
Figura 38: Exemplo de rede com Splitters distribuídos .....	50
Figura 39: Rede WiMAX com obstáculos físicos.....	53
Figura 40: Penetração domiciliar de acesso a internet e usuários de internet .....	54
Figura 41: Forecast de FTTH para o Brasil .....	56



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Atenuação de uma fibra Monomodo (ITU-T 652D) .....	21
Tabela 2 e 3: Atenuação de uma fibra Monomodo com Baixa Sensibilidade à Curvatura (ITU-T 657 A1/A2/B2/B3).....	22
Tabela 4: Atenuação de uma fibra Multimodo 50 (ITU-T 651.1).....	23

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Características de transmissão E-PON e 10G-PON.....	51
Quadro 2: Características de transmissão G-PON e XG-PON .....	51
Quadro 3: Características de transmissão xDSL em cabos de pares trançados .....	52
Quadro 4: Comparação do custo da internet nos países.....	55

## LISTA DE SIGLAS

10G-PON	Rede óptica passiva com Capacidade de 10 Gigabit Ethernet ( <i>10 Gigabit Ethernet Capable Passive Optical Network</i> )
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
CEO	Caixa de Emenda Óptica
CTO	Caixa de Terminação Óptica
DIO	Distribuidor Interno Óptico
DSL	Linha de Assinatura Digital ( <i>Digital Subscriber Line</i> )
E-PON	Rede Ethernet Óptica Passiva ( <i>Ethernet Passive Optical Network</i> )
ETL	Laboratório de Ensaios e Testes Elétricos ( <i>Testing Laboratories and Electrical Testing Laboratories</i> )
FGV	Fundação Getúlio Vargas
FTTA	Fibra até o apartamento ( <i>Fiber-to-the-apartment</i> )
FTTB	Fibra até o prédio ( <i>Fiber-to-the-building</i> )
FTTC	Fibra até a rua ( <i>Fiber-to-the-curb</i> )
FTTH	Fibra até a casa ( <i>Fiber-to-the-home</i> )
FTTN	Fibra até o nó ( <i>Fiber-to-the-node</i> )
FTTx	Fibra até x ( <i>Fiber-to-the-x</i> )
G-PON	Rede óptica passiva com Capacidade de Gigabit Ethernet ( <i>Gigabit Ethernet Passive Optical Network</i> )
HFC	Híbrido de fibra-coaxial ( <i>Hybrid fiber-coaxial</i> )
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDATE	( <i>Institute for audiovisual media and telecommunications in Europe</i> )
IEC	Comissão Internacional de Eletrotécnica ( <i>International Electrotechnical Commission</i> )
ITU	( <i>International Telecommunication Union</i> )
LASER	Amplificação de luz por emissão estimulada de radiação ( <i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i> )
LED	Diodo Emissor de Luz ( <i>Light-Emitting Diode</i> )
MM	Multimodo (Mutimode)
NBR	Norma Brasileira
NZD	Dispersão Não-zero ( <i>Non-zero Dispersion</i> )
OLT	Terminal da Linha Óptica ( <i>Optical Line Terminal</i> )
OM	Multimodo Óptico ( <i>Optical Multimode</i> )
ONT	Terminal da Rede Óptica ( <i>Optical Network Terminal</i> )
ONU	Unidade da Rede Óptica ( <i>Optical Network Unit</i> )
PON	Rede Óptica Passiva ( <i>Passive Optical Network</i> )
PTO	Ponto de Terminação Óptico
SM	Monomodo ( <i>Singlemode</i> )
TIA	Associação da Indústria de Telecomunicação ( <i>Telecommunications Industry Association</i> )
UL	Laboratório Segurador ( <i>Underwriters Laboratories</i> )
VCSEL	Cavidade Vertical com Superfície Emissora de Laser ( <i>Vertical-</i>

*Cavity Surface-Emitting Laser)*

WDM Multiplexação por Divisão de Comprimento de Onda (*Wavelength Division Multiplex*)

XG-PON Rede Óptica Passiva com Capacidade de 10 Gigabit (*10 Gigabit Capable Passive Optical Network*)

# SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS .....	4
RESUMO .....	5
ABSTRACT .....	6
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	7
LISTA DE TABELAS .....	9
LISTA DE QUADROS.....	10
LISTA DE SIGLAS.....	11
SUMÁRIO .....	13
1 INTRODUÇÃO .....	16
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO .....	16
1.2 JUSTIFICATIVA.....	17
1.3 OBJETIVO GERAL.....	17
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
1.5 METODOLOGIA.....	18
2 ESTUDO DAS FIBRAS ÓPTICAS E DOS CABOS ÓPTICOS.....	18
2.1 FIBRAS ÓPTICAS.....	19
2.1.1 FIBRAS MONOMODO.....	20
2.1.2 FIBRAS MONOMODO COM BAIXA SENSIBILIDADE À CURVATURA .....	21
2.1.3 FIBRAS MULTIMODO .....	22
2.1.4 EMENDAS .....	23
2.2 TIPOS DE CONSTRUÇÕES DE CABOS .....	25
2.2.1 TUBO LOOSE.....	26
2.2.2 TIGHT BUFFER.....	26
2.2.3 V-GROOVE .....	27
2.2.1 RIBBON.....	28
2.3 CABOS ÓPTICOS.....	28
2.3.1 CABOS ÓPTICOS EXTERNOS.....	29
2.3.2 CABOS ÓPTICOS TERMINAÇÃO.....	30
2.3.3 CABOS ÓPTICOS DE ACESSO.....	30
2.3.4 CABOS ÓPTICOS INTERNOS .....	31

2.3.5	CORDÕES ÓPTICOS .....	32
2.4	CLASSE DE FLAMABILIDADE .....	32
3	ELEMENTOS PASSIVOS DE FIBRAS ÓPTICAS .....	33
3.1	CAIXAS DE EMENDA ÓPTICA (CEO) .....	34
3.2	CAIXAS DE TERMINAÇÃO ÓPTICA (CTO) .....	35
3.3	SPLITTERS ÓPTICO/DIVISORES ÓPTICOS PASSIVOS .....	36
3.4	DISTRIBUIDOR INTERNO ÓPTICO (DGIO/DIO) .....	37
3.5	PONTO DE TERMINAÇÃO ÓPTICO (PTO) .....	39
4	ESTUDO DOS EQUIPAMENTOS ATIVOS EM DE FIBRAS ÓPTICAS .....	39
4.1	EQUIPAMENTOS DE TRASMISSÃO .....	39
4.1.1	OPTICAL LINE TERMINAL (OLT) .....	40
4.1.2	OPTICAL NETWORK TERMINAL/UNIT (ONT/ONU) .....	41
4.2	EQUIPAMENTOS DE REPETIÇÃO .....	41
4.3	TRANSMISSÃO POR DIVISÃO DE COMPRIMENTO DE ONDA (WDM) .....	42
5	ESTUDO DAS REDES DE PASSIVAS DE FIBRAS ÓPTICAS .....	43
5.1	TIPOS DE REDES FTTx .....	43
5.1.1	REDES FIBER-TO-THE-NODE (FTTN) .....	44
5.1.2	REDES FIBER-TO-THE-CURB (FTTC) .....	45
5.1.3	REDES FIBER-TO-THE-BUILDING (FTTB) .....	45
5.1.4	REDES FIBER-TO-THE-HOME (FTTH) .....	46
5.1.5	REDES FIBER-TO-THE-APPARTMENT (FTTA) .....	47
5.2	TIPOS DE TOPOLOGIAS DE REDES .....	48
5.2.1	REDE CENTRALIZADA .....	48
5.2.2	REDE COM CONVERGÊNCIA LOCAL .....	49
5.2.3	REDES COM SPLITTERS DISTRIBUÍDOS .....	50
6	DIFERENÇAS DO EPON/10G-PON E GPON/XG-PON .....	50
7	PON Vs OUTRAS REDES .....	52
7.1	xDSL .....	52
7.2	HFC .....	52
7.3	REDES SEM FIO .....	53
8	IMPLANTAÇÃO DAS REDES NO BRASIL E NO MUNDO .....	54
8.1	REDES FTTx NO MUNDO .....	54
8.2	REDES FTTx NO BRASIL .....	55
8.2.1	DESAFIOS .....	56

8.2.2	FUTURO DA REDE .....	56
9	CONCLUSÃO .....	57
10	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A evolução da rede de internet foi um processo gradual e contínuo ao longo do tempo, realizada tanto na qualidade quanto na velocidade do serviço.

Essa melhoria aconteceu graças às mudanças aplicadas nos transmissores (equipamentos ativos) e nos meios de transmissão (rede passiva).

Inicialmente usavam-se meios de transmissões elétricas em redes metálicas, conhecido como redes de telefonia. Estas redes trafegavam somente dados de voz utilizando sinais analógicos, os quais foram posteriormente substituídos por sinais digitais.

Esta troca de transmissão juntamente com novas técnicas de validação de dados foi o que possibilitou atingir novas velocidades e uma melhoria significativa da qualidade. Porém esta tecnologia inviabilizava transmissões em longas distancias devido à grande perda gradual de transmissão (atenuação). Esta dificuldade só era superada pelo uso de repetidores ao longo da rede, motivo que resultava no aumento de custos de implantação e manutenção.

Na medida do tempo a evolução das redes e dos equipamentos foi natural, como por exemplo, a rede xDSL (*Digital Subscriber Line*), a qual usava o mesmo meio mas com ativos diferentes que possibilitavam maiores velocidades. Porém, ainda sim eram necessários diversos equipamentos ao longo da rede para compensar a atenuação sofrida nos meios metálicos. Além disso, à medida que a rede metálica melhorava a substituição dos cabos antigos era necessária e acarretava em mais uma fonte de custo para as operadoras e conseqüentemente para o cliente.

A descoberta da fibra óptica com o uso da luz como transmissor de informação possibilitou uma nova forma de internet com cabos que não sofriam tanto com o a ação temporal, velocidades que não sofriam



atenuações tão grandes pelo meio e que dependiam quase que inteiramente dos transmissores utilizados.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Cada dia mais utilizamos a rede para transmitir nossos dados, mas por trás deste nosso aumento de uso existe um estudo extenso de novas tecnologias para tornar esta realidade possível.

A transmissão de dados por fibra óptica é hoje uma realidade que traz diversos benefícios aos usuários e as empresas provedoras de serviços. No Brasil, diferente de vários países desenvolvidos, a implantação desta tecnologia ainda está em fase inicial, porém com muitas possibilidades de evolução.

Com a melhoria da transmissão de dados, muitas mudanças tiveram que ser feitas e com isso novos conhecimentos aprendidos. Este trabalho visa mostrar um estudo de forma simplificada destas novas redes, seus componentes e demonstrar qual seu estado atual no Brasil.

## 1.3 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho de monografia é:

- Entender as tecnologias dos cabos e fibras ópticas aplicadas nas redes FTTx, junto com os outros componentes, comparando as vantagens com as outras tecnologias utilizadas no Brasil;

## 1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Entender os cabos e as fibras ópticas;
- Entender os componentes ativos e passivos de uma rede FTTx totalmente óptica (PON – Passive Optical Network);
- Entender o funcionamento das redes PON;

- Realizar uma comparação destas tecnologias com as anteriores;
- Analisar o estado atual da tecnologia no Brasil;

## 1.5 METODOLOGIA

Este trabalho de monografia, como informado anteriormente, tem como objetivo o estudo das redes FTTx com componentes ópticos no Brasil. Porém, primeiro deve-se haver um entendimento das tecnologias, para isto, será realizado um estudo na primeira fase do projeto.

Na segunda fase, será explicado todos os itens de uma rede PON, detalhando o funcionamento de cada equipamento e quais as normas que se aplicam a eles. Depois de compreendido, será detalhado o funcionamento das redes.

Por último, será feito uma análise da implementação no Brasil, observando os últimos investimentos nesta tecnologia e as dificuldades observadas até o momento atual.

## 2 ESTUDO DAS FIBRAS ÓPTICAS E DOS CABOS ÓPTICOS

O termo de fibra óptica foi empregado pela primeira vez em 1956 pelo Dr. N. S. Kapany (TELECO). O conceito baseava-se na transmissão da luz, considerada atualmente como a onda eletromagnética mais rápida conhecida, em um meio similar ao vácuo, ou seja, se os equipamentos transmissor e receptor conseguissem emitir e ler sinais na velocidade da luz se tornaria possível a comunicação com taxas de bits na mesma velocidade.

Sua principal matéria prima é a sílica de vidro ( $\text{SiO}_2$ ), elemento muito mais abundante e barato que o cobre, de maneira que o custo final dos cabos ópticos é muito menor que os metálicos. Além disso, esta inovação se diferencia por diversas características como seu diâmetro e peso reduzido o qual proporcionam melhor aproveitamento de espaço em um duto para cabos e melhor eficiência no manuseio e transporte nas

instalações. Com o tempo foram sendo criadas novas fibras com outros materiais e com outras características, porém no Brasil as fibras mais usadas são as de provenientes da sílica de vidro.

Como citado anteriormente, devido a grande taxa de transmissão, uma maior velocidade final é entregue aos usuários e, uma mesma fibra pode ter mais ondas trafegando nela do que uma rede metálica o que multiplica ainda mais sua capacidade. Ademais, além de ser imune a interferências eletromagnéticas, a atenuação sofrida pelo sinal é muito menor, possibilitando a transmissão em longas distâncias sem a necessidade da inserção de equipamentos de reforço de sinal (ex: repetidores) ao longo da rede. Justamente por isso, as mesmas são chamadas de redes ópticas passivas (PON) devido à ausência desse e de outros equipamentos conhecidos como ativos.

Mas para melhor entender as vantagens de transmissão das redes e das fibras ópticas, é importante compreender a tecnologia por trás delas, pois existem diversos tipos que se diferenciam por suas características e usos.

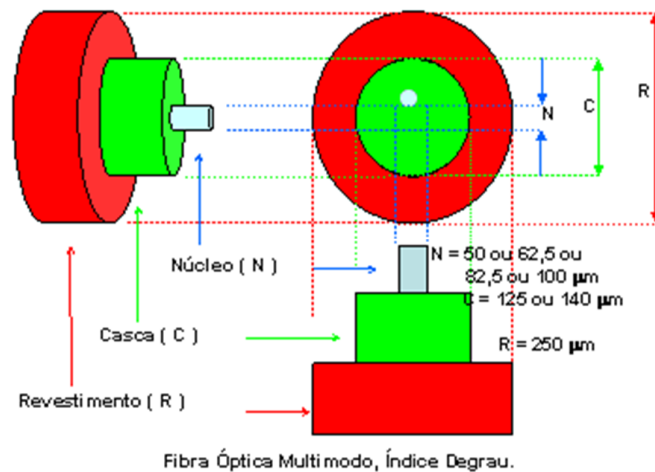
## 2.1 FIBRAS ÓPTICAS

As fibras ópticas podem ser divididas de modo geral entre monomodo (SM) ou multimodo (MM), dentro delas ainda existem outras divisões.

As fibras monomodo têm outras subdivisões como, por exemplo, a monomodo convencional (ITU-T 652 A/B), monomodo baixo/zero pico d'água (ITU-T 652 C/D), fibras monomodo com baixa sensibilidade a curvaturas (ITU-T G-657 B1), monomodo com corte deslocado (ITU-T 654), monomodo com dispersão deslocada (ITU-T 653 DS) e fibras monomodo com dispersão não zero (ITU-T 655/656 NZD).

As fibras multimodo (ITU-T 651) podem ser divididas em OM1, OM2, OM3 e OM4. As diferenças entre elas, explicadas com maiores detalhes nos próximos capítulos, são provenientes do tamanho do núcleo e da dopagem da sílica no processo de fabricação.

Entretanto, a ideia do funcionamento de todas elas é similar: a luz deve trafegar pelo núcleo do cabo, utilizando do princípio da reflexão total com a casca para chegar até o destino final. Para proteção desta estrutura é aplicada uma camada de acrilato a qual pode ter posteriormente outras proteções dependendo da sua aplicação. Um exemplo de construção de fibra óptica pode ser visto na figura 1.



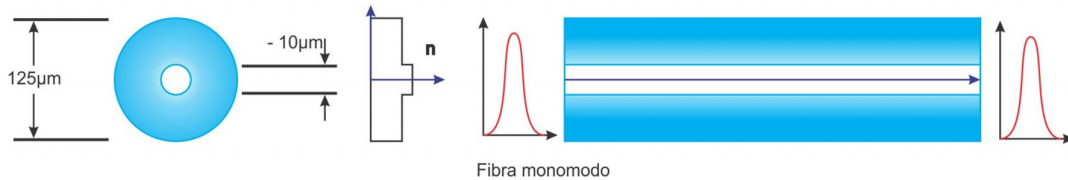
**Figura 1: Construção da Fibra óptica**  
**Fonte: Teleco (2014)**

As perdas ocasionadas na fibra são provenientes da diminuição da potência ao longo da fibra. Elas podem ser causadas pela absorção intrínseca ou extrínseca, espalhamento linear ou não-linear e perdas por micro ou macro curvaturas. Estas perdas assim como as fibras tipicamente não utilizadas em FTTx só serão citadas e não detalhadas neste trabalho por não ser o foco do estudo.

### 2.1.1 FIBRAS MONOMODO

Como dito anteriormente, a fibra monomodo pode se dividir em diversas categorias, porém antes é preciso entender o porquê desse nome e qual sua função e vantagem.

A fibra se chama assim, pois nela a luz trafega em apenas um modo de propagação ou caminho (figura 2), proporcionando assim menores atenuações e também maior largura de banda devido a menor dispersão do sinal. Este tipo de fibras é geralmente utilizado para transmissões de longas distâncias.



**Figura 2: Fibra Monomodo**  
**Fonte: Adaptado de Fibracem (2014)**

Estas fibras tem um custo reduzido em relação às fibras multimodo, porém utilizam um LASER como transmissor. O mesmo tem um custo muito mais elevado que o LED ou o VCSEL (utilizados para as fibras MM), pois tem maior precisão, potência e velocidade.

Na tabela 1 é demonstrado as características de atenuação de uma fibra monomodo, neste caso a ITU 652D.

**Tabela 1: Atenuação de uma fibra Monomodo (ITU-T 652D)**

Attribute	Detail	Value
Attenuation coefficient (Note 1)	Maximum from 1310 nm to 1625 nm (Note 2)	0.4 dB/km
	Maximum at 1383 nm ±3 nm (Note 3)	0.4 dB/km
	Maximum at 1550 nm	0.3 dB/km

Fonte: ITU

### 2.1.2 FIBRAS MONOMODO COM BAIXA SENSIBILIDADE À CURVATURA

Devido ao uso dos cabos dentro de casas e apartamentos nas redes FTTx, existe uma necessidade de fibras que realizem curvaturas em raios

muito pequenos e não sofram atenuação. Para isto utiliza-se fibras com baixa sensibilidade a curvaturas, tendo um aumento de atenuação extremamente reduzido quando postas em situações de curvaturas reduzidas.

Nas tabelas 2 e 3 é possível verificar o desempenho destas fibras quando realizam diversas curvaturas em um mandril de pequeno raio.

**Tabela 2 e 3: Atenuação de uma fibra Monomodo com Baixa Sensibilidade à Curvatura (ITU-T 657 A1/A2/B2/B3).**

Uncabled fibre macrobending loss (Notes 1, 2)	ITU-T G.657.A1		ITU-T G.657.A2			
	Radius (mm)	15	10	15	10	7.5
	Number of turns	10	1	10	1	1
	Max. at 1550 nm (dB)	0.25	0.75	0.03	0.1	0.5
	Max. at 1625 nm (dB)	1.0	1.5	0.1	0.2	1.0

Uncabled fibre macrobending loss (Notes 1, 2)	ITU-T G.657.B2			ITU-T G.657.B3			
	Radius	15	10	7.5	10	7.5	5
	Number of turns	10	1	1	1	1	1
	Max. at 1550 nm (dB)	0.03	0.1	0.5	0.03	0.08	0.15
	Max. at 1625 nm (dB)	0.1	0.2	1.0	0.1	0.25	0.45

**Fonte: ITU**

Conforme as normas das fibras ITU-T 657, as do tipo A são totalmente compatíveis com as fibras ITU-T 652, podendo realizar continuações da transmissão sem que haja cuidados especiais. Esta mesma característica não se aplica a todos os casos das fibras do tipo B.

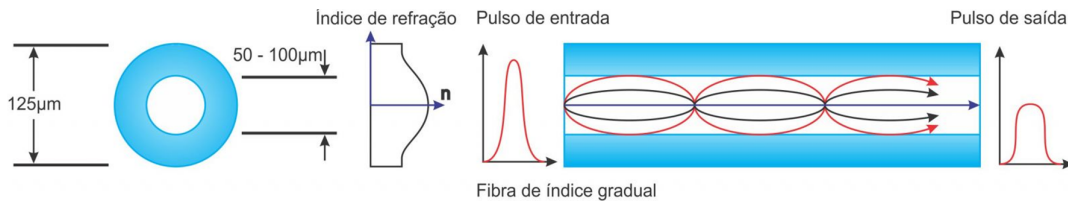
### 2.1.3 FIBRAS MULTIMODO

As fibras multimodo possuem diâmetro do núcleo maior que as monomodo de modo que a luz possui diversos modos de propagação ou caminhos, o que causa maiores atenuações no sinal. É importante lembrar que somente o núcleo e não a casca tem diâmetros diferentes.

Esta possui duas subdivisões: fibras de índice degrau e de índice gradual. A diferença entre elas é que a capacidade de fibra de índice degrau é inferior em relação à outra, tanto pela quantidade de sinal

transmitido ser menor quanto por causar maior perda das informações. Na fibra de índice gradual, há uma variação parabólica e isso aumenta a faixa de frequência do sinal utilizado.

Um exemplo de transmissão em uma fibra multimodo pode ser visto na figura 3.



**Figura 3: Fibra Multimodo**  
**Fonte: Adaptado de Fibracem (2014)**

Apesar de sua fabricação mais custosa, seus equipamentos ativos (LED e VCSEL) são mais baratos, sendo utilizado em menores distâncias quando a atenuação não será grande e o custo/quantidade dos transmissores é mais relevante que o dos cabos na rede, como em data-centers.

Na tabela 4 é demonstrado as características de atenuação de uma fibra multimodo 50 microns (ITU 651.1).

**Tabela 4: Atenuação de uma fibra Multimodo 50 (ITU-T 651.1)**

Cable attributes		
Attribute	Detail	Value
Attenuation coefficient	Maximum at 850 nm	3.5 dB/km
	Maximum at 1300 nm	1.0 dB/km

**Fonte: ITU**

#### 2.1.4 EMENDAS

Quando se está trabalhando em uma rede FTTx com diversos cabos ópticos as vezes é necessário a realização de uma junção entre eles, entretanto nem todas as fibras são compatíveis devido a diferenças de diâmetro ou características conforme respectivas normas ITU. Os métodos

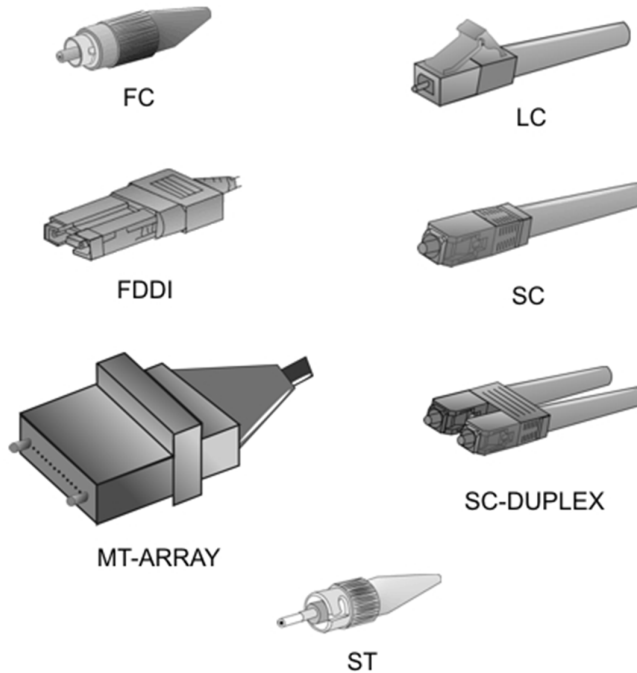
de emenda podem ser divididos em duas famílias: a da fusão e a da conectorização.

A fusão é um método de emenda no qual é utilizado uma máquina especial, conforme figura 4, que realiza a junção entre as fibras de maneira correta, alinhando o núcleo das fibras.



**Figura 4: Exemplo de uma máquina de fusão**  
Fonte: Furukawa Japão (2014)

Já na conectorização é utilizado um dispositivo que faz esta junção de maneira mecânica. Alguns exemplos de conectores podem ser visto na figura 5.



**Figura 5: Exemplos de conectores ópticos**  
Fonte: FibraopticaHoy.com (2010)



Existem dois tipos de cabos conectorizados, os pré-conectorizados em fábrica e os conectorizados em campo (ambos na figura 6). Os pré-conectorizados apresentam conectores mais robustos e de performance elevada, porém devem ser inseridos em locais especializados. Já os conectorizados em campo podem ser montados em qualquer lugar e por qualquer pessoa que tenha os equipamentos corretos, mas apresentam um desempenho um pouco inferior.



**Figura 6: Exemplo de cabo pré-conectorizado e um conector de campo**  
Fonte: Furukawa Brasil (2014)

Hoje em dia tem se preferido este último método em comparação à fusão, pois agiliza a ativação dos clientes - por não necessitar de uma mão de obra especializada - e ser mais seguro para a manutenção - porque não se utiliza de métodos agressivos como o corte da fibra durante uma desativação.

As perdas de sinal que ocorrem em conectores podem ser provenientes da Perda de Inserção (IL) ou Perda de Retorno (RL). A primeira caracteriza-se pela perda de potência quando o sinal atravessa a conexão e a segunda pela diminuição do sinal quando o mesmo é refletido na emenda entre as fibras.

## 2.2 TIPOS DE CONSTRUÇÕES DE CABOS

Além das diferenças de fibras, as mesmas podem ser acomodadas de diferentes maneiras em um cabo formando diferentes projetos. Estas construções devem ser analisadas para cada uso.

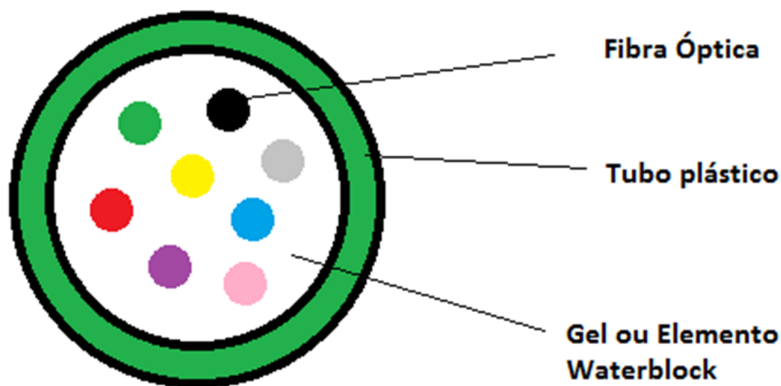
Fatores que influenciam na escolha do tipo de construção podem ser, por exemplo, a densidade de fibras dentro do cabo ou a necessidade de realizar uma emenda como fusão ou conectorização.

### 2.2.1 TUBO LOOSE

As fibras que utilizam construção tipo *Tubo Loose*, que pela própria tradução significam soltas, ficam dispersas dentro de um tubo plástico que oferece uma proteção mecânica às fibras. Dentro dele é inserido um componente que pode ser um tipo de geleia derivado do petróleo ou um elemento seco chamado de *Waterblock* para efetuar uma proteção contra a ação da água nas fibras.

Esta construção é geralmente utilizada para grandes formações com até 288 fibras, conforme norma de cabos para uso em dutos por exemplo (NBR 14772), e por isso tipicamente usada em transmissões de longas distâncias onde são necessárias várias fibras.

Um exemplo de construção *Tubo Loose* pode ser vista na figura 7.



**Figura 7: Construção Tubo Loose**  
Fonte: Autoria Própria

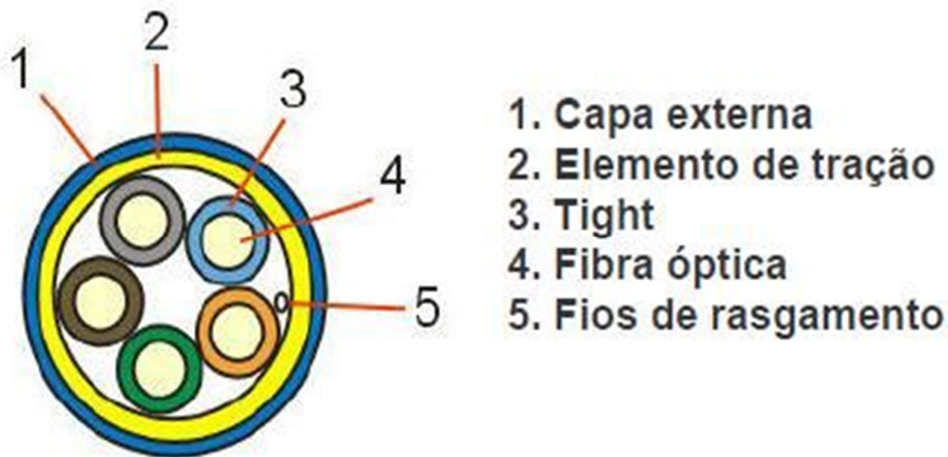
### 2.2.2 TIGHT BUFFER

Na construção tipo *Tight Buffer* as fibras recebem um revestimento adicional além do acrilato mencionado anteriormente, esta camada

secundária é geralmente de material plástico o qual proporciona uma maior proteção mecânica e contra a umidade. O fato de não necessitar de um tubo para proteger as fibras faz possível a inserção delas junto aos elementos de tração.

Este tipo de construção é utilizado em instalações internas, que podem necessitar de conectorização ou em instalações verticais devido à ausência de geleia (cabos *Tube Loose* com elementos *waterblock* também podem ser usados neste tipo de aplicação).

Na figura 8 pode se ver um exemplo de construção *Tight Buffer*, onde o item 3 dela representa o revestimento adicional da fibra (item 4).

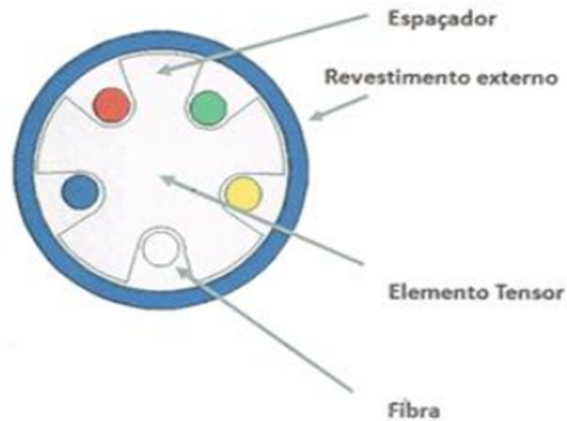


**Figura 8: Construção Tight Buffer**  
Fonte: BM Conectividade (2014)

### 2.2.3 V-GROOVE

Em uma estrutura *V-Groove* as fibras ficam soltas dentro de sulcos formados pelo elemento de sustentação em formato de “estrela”, que fornece a resistência mecânica, e a capa do cabo como mostrado na figura 9.

Uma estrutura deste tipo pode permitir um número maior de fibras num mesmo diâmetro do que um cabo *Tube Loose* ou *Tight Buffer*.



**Figura 9: Construção V-Groove**  
**Fonte: Ponlan (2014)**

### 2.2.1 RIBBON

A construção *Ribbon* é extremamente compacta, utilizando conjuntos de fibras empilhadas fixadas com um tipo de fita plástica para formar blocos (figura 10), estes blocos são então posteriormente empilhados sobre si.

Se combinado com a estrutura *V-Groove* os cabos de fibra óptica *Ribbon* podem atingir densidades ainda maiores, podendo chegar a concentrações acima de 5000 fibras.



**Figura 10: Construção Ribbon**  
**Fonte: Caetano (2011)**

### 2.3 CABOS ÓPTICOS

Os cabos ópticos podem ser divididos em cinco grandes categorias os quais são definidos pelo tipo de ambiente e aplicação que o cabo será

instalado. Para ajudar a definir padrões de qualidades e requisitos mínimos, existem as normas chamadas de Normas Brasileiras (NBR) definidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). O Brasil se diferencia em alguns aspectos das normas internacionais especialmente no quesito da padronização de cores de capa e fibra (TIA 598-C), porém a maioria dos requisitos mecânicos e ambientais são similares.

### 2.3.1 CABOS ÓPTICOS EXTERNOS

A primeira são os cabos para planta externa, os quais realizam a travessia entre central da provedora de internet até uma caixa de terminação (dispositivo utilizado para armazenar a emenda de cabos e a troca de tipos de cabo), estes tem a necessidade de serem mais robustos, resistentes a ação do sol e a intempéries por ficarem expostos em ambientes mais agressivos. Esta travessia pode se dar com cabos que utilizam postes de maneira autossustentada (regidos pela norma NBR 14160 para vãos até 200 metros ou NBR 15330 para longos vãos), por dutos ou espinado em torno de cordoalhas (NBR 14566), por dutos com a necessidade de proteção anti-roedor (NBR 15108 para proteção metálica e NBR 14773 para proteção dielétrica), diretamente enterrado (NBR 14103) ou diretamente enterrado com proteção anti-roedor (NBR 15110 para proteção metálica e NBR 14774 para proteção metálica).

Um modelo de cabo externo é demonstrado na figura 11.



**Figura 11: Exemplo de um cabo externo autossustentado**  
**Fonte: Furukawa Brasil (2014)**

### 2.3.2 CABOS ÓPTICOS TERMINAÇÃO

A segunda categoria são cabos de terminação os quais podem ser usados tanto em ambientes externos como internos, habilitando utilizá-los a partir de uma caixa de terminação (CTO) até a casa do cliente. Eles têm a mesma proteção que cabos externos, mas atendem aos mesmos requisitos de inflamabilidade que os cabos internos. Estes requisitos são necessários para evitar a propagação de incêndios dentro de um ambiente fechado com a presença de pessoas, controlar a emissão de fumaça e os elementos tóxicos presentes nesta fumaça.

Estes cabos são usados em dutos ou espinados em cordoalha (NBR 14772) e podem ter proteção anti-roedor (NBR 15108 para proteção metálica e NBR 16164 para proteção dielétrica).

Conforme figura 12, um cabo de terminação.



**Figura 12: Exemplo de um cabo terminação para dutos com proteção anti-roedor**  
**Fonte: Furukawa Brasil (2014)**

### 2.3.3 CABOS ÓPTICOS DE ACESSO

Os cabos acesso também realizam a transição entre uma caixa de terminação e a casa do cliente, eles são chamados também de *Drops* por serem autossustentado e realizarem a descida da caixa de terminação até o nível do solo. Utilizados para trechos *last-mile* (NBR 15596), por percorrer somente a última milha, podendo ou não entrar na casa do cliente sem a necessidade da troca de cabos por se tratar de um ambiente interno.

Estes cabos podem ser usados em instalações tipo autossustentados ou dentro de dutos e, como transitam por ambientes

externos, também devem ter proteção contra a ação do sol e de intempéries (NBR 15596).

Este tipo de cabo pode ser visto na figura 13.



**Figura 13: Exemplo de um cabo de acesso (*drop*)**  
**Fonte: Furukawa Brasil (2014)**

#### 2.3.4 CABOS ÓPTICOS INTERNOS

Os cabos internos trafegam somente dentro de ambientes fechados como uma casa ou edifício, pois seriam danificados se expostos a ambientes mais agressivos. Ainda que só possam ser usados em um tipo de ambiente, o mesmo tem subdivisões que podem ser separadas pela classe de flamabilidade, mais detalhadas posteriormente, mas que de modo geral pode ser dividido em cabeamento horizontal, cabeamento vertical ou prumada e cabeamento em dutos de passagem de ar forçado.

Estes cabos trafegam tipicamente dentro de dutos e seguem uma norma específica para eles (NBR 14771).

Um exemplo de cabo interno está presente na figura 14.



**Figura 14: Exemplo de um cabo interno**  
**Fonte: Furukawa Brasil (2014)**

Além disso, eles se diferenciam por cores de capa, definidos também pela norma destes cabos, para facilitar a identificação do tipo de fibra já que nos ambientes internos a variação é maior.

### 2.3.5 CORDÕES ÓPTICOS

Os cordões ópticos (figura 15) também são utilizados em ambientes internos, apresentam uma maior facilidade de manuseio proveniente da sua flexibilidade e dimensões reduzidas, mas que apresentam resistência mecânica e densidade de fibras inferiores a um cabo.

Estes cordões tem uma norma específica para eles (NBR 14106).



**Figura 15: Exemplo de um cordão óptico**  
**Fonte: Furukawa Brasil (2014)**

## 2.4 CLASSE DE FLAMABILIDADE

Como citado anteriormente os cabos podem ter diferentes classes de flamabilidade que devem atender a certos requisitos definidos por norma (*UL 94, UL 444 e NBR 14705*)

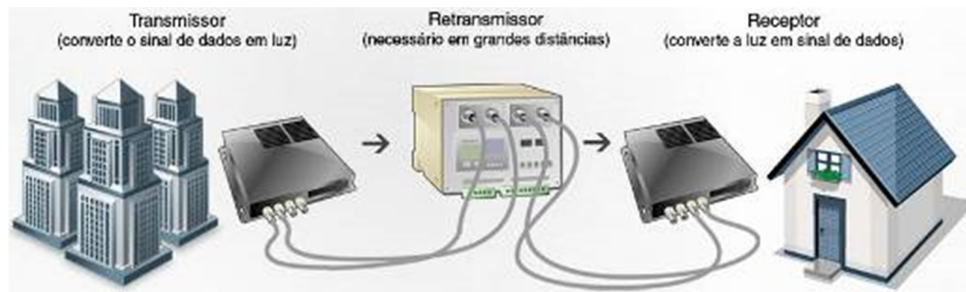
- Não Retardante (NR): classe que não retarda a chama e que somente pode ser usada em ambientes externos.
- Retardante à Chama (RC): classe que apresenta resistência à chama, mas que devido a fumaça e elementos contidos nela não pode ser usado em ambientes internos.
- Resistente à Trilhamento (RT): esta apresenta resistência ao trilhamento causado pela proximidade do cabo óptico com redes elétricas de alta tensão. Usado em ambientes externos em cabos para longos vãos.



- Cabo Óptico Geral (COG): Este tipo já pode ser usado em ambientes internos além de externos, se tiver resistência aos raios UV e intempéries, porém só pode ser usado em estruturas horizontais onde a propagação da chama não poderá ser tão crítica.
- Cabo Óptico Riser (COR): Esta classe é para cabos que serão utilizados em dutos verticais onde é necessária uma resistência maior a chama, pois a própria instalação acaba beneficiando a propagação de incêndios devido à tendência do fogo subir verticalmente. Esta classe pode ser utilizada também em estruturas horizontais, superando a COG.
- Cabo Óptico Plenum (COP): classe especial para dutos com a circulação de ar forçado, onde o material da capa deve ter mais uma proteção adicional para impedir que o fogo se alastre. Esta classe de flamabilidade pode ser utilizada em estruturas verticais ou horizontais superando a COG e a COR.
- Low Smoke, Zero Halogen (LSZH): Nome que significa “Baixa Emissão de Fumaça e Zero Halogênio” pode ser usado em estruturas verticais e horizontais superando em termos de resistência a chama a classe COG e equivalente a COR, mas que além da resistência também emite pouca fumaça e a mesma é não tóxica, sendo preferível em ambientes onde há presença de muitas pessoas.

### **3 ELEMENTOS PASSIVOS DE FIBRAS ÓPTICAS**

As transmissões em redes FTTx, são limitadas devido aos equipamentos transmissores em até 20 km de acordo com as normas IEEE 802.3ah e IEEE 802.3av para EPON e 10 G-EPON, respectivamente, e ITU G.984 e ITU G.987 para G-PON e XG-PON, respectivamente (nestes últimos dois casos podendo chegar a 60km se utilizado repetidores de sinal). Mas os comprimentos dos cabos ópticos tem uma limitação muito menor por motivos fabris, de transporte ou de manuseio. Para isto são necessários elementos de emenda e derivações que possibilitam a continuação da transmissão ou derivação com uma maior capilaridade. Na figura 16 pode-se ver uma ilustração de transmissão utilizando fibra óptica.



**Figura 16: Transmissão de dados por fibra óptica**  
**Fonte: Fibranett (2014)**

É importante lembrar que assim como as fibras e os cabos ópticos, quase todos os elementos passivos e ativos de uma rede FTTx só podem ser comercializada com a autorização ou homologação da ANATEL, conforme a lei Nº 9472/1997.

### 3.1 CAIXAS DE EMENDA ÓPTICA (CEO)

Como dito anteriormente, devido a limitações de comprimento dos cabos ópticos, durante o trecho de transmissão externo (anel óptico) é necessário fazer emendas entre cabos para continuar até o destino final. Para isso são usadas caixas de emenda óptica (CEO) as quais armazenam de forma segura todas as fusões realizadas entre as fibras dos dois cabos.

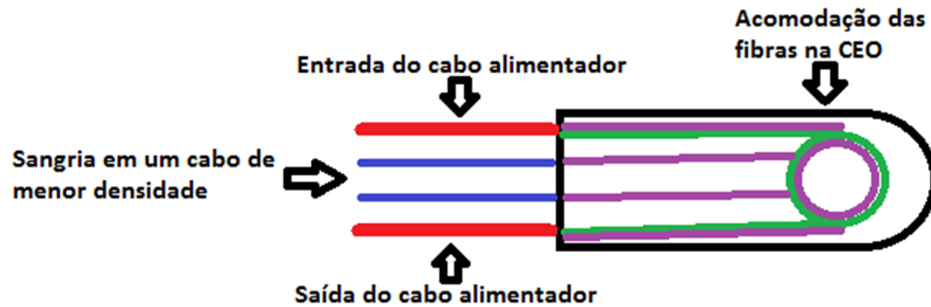
Na figura 17 é demonstrada uma CEO.



**Figura 17: Exemplo de uma Caixa de Emenda Óptica**  
**Fonte: Furukawa Brasil (2014)**

Além disso, a caixa pode realizar derivações, conhecidas como sangria, estas são utilizadas para dividir as fibras dentro de um anel óptico possibilitando que o cabo alimentador continue seguindo o trecho deixando

apenas o número de fibras necessário para o cabo de menor densidade seguir outro caminho, como exemplificado na figura 18.



**Figura 18: Exemplo de sangria**  
**Fonte: Autoria Própria**

As emendas realizadas nesta caixa são apenas feitas por máquinas de emenda (fusão). Existem caixas aéreas ou subterrâneas, as quais devem ser utilizadas de acordo com o ambiente onde a mesma se encontra (postes ou dutos).

Este passivo segue os Requisitos técnicos e procedimentos de ensaios aplicáveis à certificação de produtos para telecomunicação da categoria III (ANATEL) ou a Telcordia - GR 771.

### 3.2 CAIXAS DE TERMINAÇÃO ÓPTICA (CTO)

Para realizar a transição entre um cabo de planta externa e terminação é necessária uma caixa de terminação (CTO). Funcionando da mesma maneira que uma CEO, porém conseguindo armazenar uma densidade bem menor de fibras, pois já se encontra no final do destino. Esta caixa (figura 19) também possibilita a operação de derivação ou sangria.

A troca de cabos pode ser feita por fusão ou através de conectorização de campo. Assim como a CEO, também existem caixas para utilizações aéreas ou submeterrâneas.



**Figura 19: Exemplo de uma Caixa de Terminação Óptica**  
Fonte: Furukawa Brasil (Brasil)

Os Requisitos técnicos e procedimentos de ensaios aplicáveis à certificação de produtos para telecomunicação da categoria III (ANATEL) ou a Telcordia - GR 771 também regem este equipamento.

### 3.3 SPLITTERS ÓPTICO/DIVISORES ÓPTICOS PASSIVOS

Os Splitter ópticos (figura 20) realizam a divisão do sinal que vem de uma ou duas fibras em várias outras. Este componente é imprescindível numa rede PON, pois a divisão do sinal possibilita uma rede ponto-a-multiponto (os tipos de redes serão mais bem detalhados posteriormente).

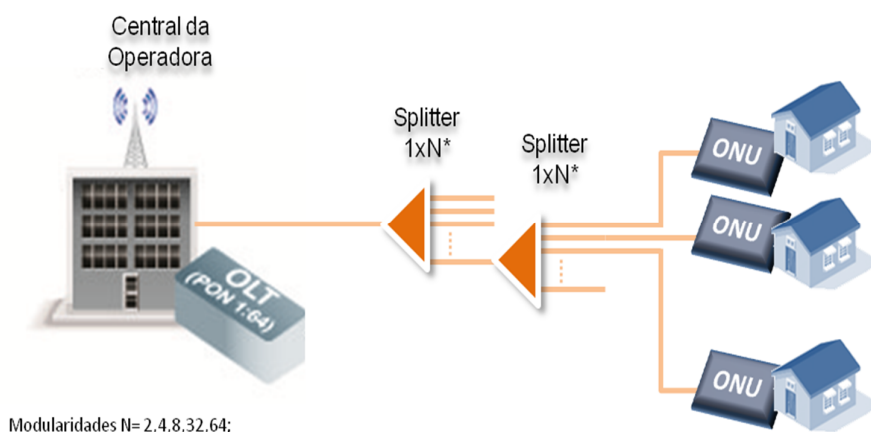
Existem dois tipos de Splitter, o balanceado e o não-balanceado, sendo utilizados para diferentes aplicações. Os balanceados realizam uma divisão de sinal igual para todas as fibras posteriores, sendo assim mais utilizado nas redes PON. Já os não-balanceados são utilizados em “estradas inteligentes” quando é necessário uma divisão desigual entre as fibras, este não será abordado neste trabalho pois raramente é utilizado em FTTx.



**Figura 20: Exemplo de um Splitter Óptico**  
Fonte: Furukawa Brasil (2014)

Este componente da rede PON segue os Requisitos técnicos e procedimentos de ensaios da ANATEL aplicáveis à certificação de produtos para telecomunicação da categoria III.

Na figura 21 é exemplificado o funcionamento de um Splitter, como dito anteriormente, o mesmo realiza a divisão do sinal proveniente da Central da Operadora possibilitando o envio do sinal vindo de uma única fibra em vários pontos ou assinantes.



**Figura 21: Funcionamento do Splitter Óptico**  
**Fonte: Furukawa Brasil (2014)**

### 3.4 DISTRIBUIDOR INTERNO ÓPTICO (DGIO/DIO)

Quando estamos trabalhando em uma rede FTTA (*Fiber-to-the-apartment*), melhor detalhada posteriormente, onde há a chegada de uma ou mais fibras de um cabo de acesso ou terminação do anel óptico até um apartamento, é necessária uma distribuição das fibras ou largura de banda entre os usuários do prédio. Ela é feita de maneira similar a uma caixa de emenda, porém em uma caixa ideal para ambientes internos, conhecida como distribuidor geral interno óptico (figura 22). Existem no mercado modelos que utilizam apenas emenda por fusão e outros que utilizam fusão e conectorização para facilitar o manuseio.



**Figura 22: Exemplo de um Distribuidor Geral Interno Óptico**  
**Fonte: Furukawa Brasil (2014)**

A caixa descrita anteriormente realiza a transição entre o ambiente externo e o interno sendo necessária a troca de cabo para distribuir entre os andares do prédio, para isto deve ser utilizado um cabo de ambiente interno que tenha classe de flamabilidade apta a ser usada em instalações verticais.

Para realizar a distribuição entre os andares é necessária outra caixa que realiza a derivação como uma CTO, possibilitando a passagem do cabo de prumada com a derivação em cabos menores que serão distribuídos para cada apartamento no andar. Como se pode ver na figura 23, o cabo de prumada (cinza) continua subindo e os cabos horizontais (azul) seguem até o apartamento.



**Figura 23: Exemplo de um Distribuidor Interno Óptico**  
**Fonte: Furukawa Brasil (2014)**

As caixas internas não seguem nenhuma norma brasileira, o único pré-requisito é que seus componentes internos (como por exemplo o Splitter) sigam suas normas específicas e estejam homologados pela ANATEL.

### 3.5 PONTO DE TERMINAÇÃO ÓPTICO (PTO)

Depois de alcançado a casa do cliente (rede FTTH) ou derivado em um cabo de fibra única (rede FTTA) chega-se ao último equipamento passivo da rede, o ponto de terminação óptico ou tomada óptica. Este funciona como mostrado na figura 24 como uma tomada elétrica, armazenando o cabo que transmite o sinal do transmissor (cinza) e disponibilizando uma entrada para que seja ligado o equipamento receptor (cabo azul se realizado fusão ou portas verdes se realizado conectorização em campo).



**Figura 24: Exemplo de um Ponto de Terminação Óptico**  
**Fonte: Furukawa Brasil (2014)**

Normalmente utiliza-se um cordão óptico para realizar a ligação do PTO com o equipamento ativo devido a sua flexibilidade.

Assim como o item anterior, este componente não tem uma norma brasileira específica.

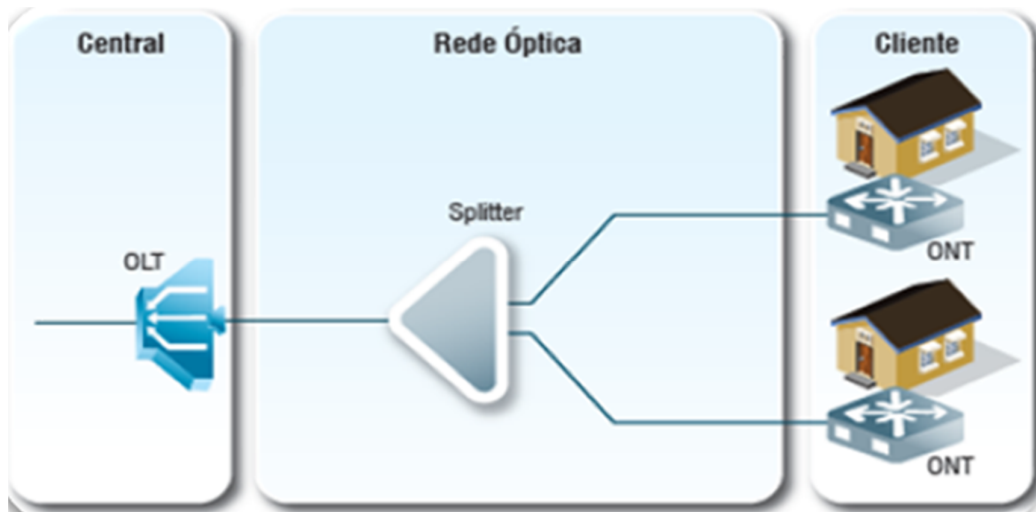
## 4 ESTUDO DOS EQUIPAMENTOS ATIVOS EM DE FIBRAS ÓPTICAS

### 4.1 EQUIPAMENTOS DE TRASSMISSÃO

Como citado anteriormente, a vantagem de quando se está trabalhando em uma rede PON é que devido às características da rede, a velocidade e qualidade da transmissão de dados dependem quase que

inteiramente dos equipamentos ativos. Neste capítulo, estes componentes da rede serão melhores detalhados.

Na figura 25 tem-se a rede com os equipamentos ativos (OLT e ONT) somente nas pontas e os cabos e Splitters (passivos) na região intermediária. Na eventualidade de uma evolução ou atualização de tecnologia, não há a necessidade de alterar a parte passiva apenas as pontas, facilitando e barateando a manutenção.



**Figura 25: Exemplo de PON**  
**Fonte: Furukawa Brasil (2014)**

#### 4.1.1 OPTICAL LINE TERMINAL (OLT)

Os equipamentos transmissores são responsáveis pela transmissão dos dados ópticos para a rede, localizado nas centrais dos provedores de internet ou operadoras. Esta transmissão é feita pelo envio de dados digitais pela rede PON.

O sinal pode carregar de dados, voz, vídeo ou os três simultâneos, se diferenciando pela tecnologia de cada ativo.

Na figura 26, pode-se ver um exemplo de transmissor da rede E-PON e G-PON, duas das tecnologias de transmissão utilizadas nas redes PON normatizadas pela IEEE 802.3ah e 802.3av e ITU G.984 e G.987.





**Figura 26: Exemplo de OLT (E-PON e G-PON)**  
**Fonte: Furukawa Brasil (2014)**

#### 4.1.2 OPTICAL NETWORK TERMINAL/UNIT (ONT/ONU)

O outro equipamento ativo fica nas residências dos usuários de internet, este recebe os sinais das centrais e envia sinais em resposta.

Assim como os transmissores, estes equipamentos podem receber e transmitir dados, voz, vídeo ou os três simultâneos.

Na figura 27, pode-se ver um exemplo de receptores da rede E-PON e G-PON, os quais seguem as mesmas normas da OLT.



**Figura 27: Exemplo de ONU (E-PON) e ONT (G-PON)**  
**Fonte: Furukawa Brasil (2014)**

#### 4.2 EQUIPAMENTOS DE REPETIÇÃO

Nos casos de redes G-PON ou XG-PON onde as distâncias necessárias são superiores a 20 quilômetros, é necessário o uso de um repetidor óptico (figura 28) o qual recebem um sinal de potência mais fraca e emite ele novamente para percorrer até o destino final.

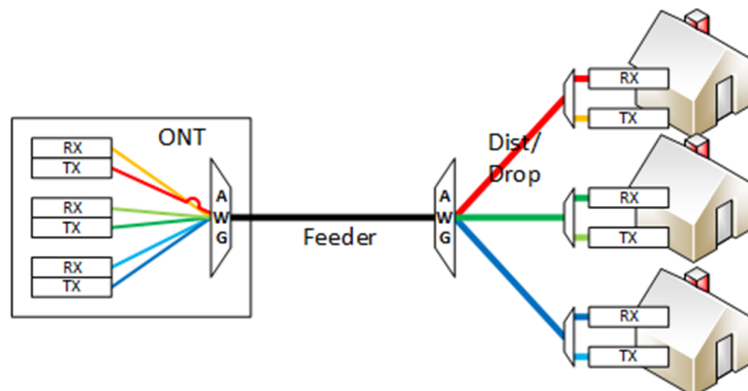


**Figura 28: Exemplo de um repetidor óptico**  
Fonte: W&T Interfaces (2014)

### 4.3 TRANSMISSÃO POR DIVISÃO DE COMPRIMENTO DE ONDA (WDM)

Apesar de não se tratar de um equipamento, a transmissão WDM é utilizada por alguns deles. Esta transmissão utiliza de comprimentos de ondas diferenciados para transmitir numa mesma fibra diversos sinais, estes são separados por um receptor e encaminhado ao destino correto, na volta ele faz a junção dos sinais novamente na fibra. Desta maneira tem-se um aproveitamento muito maior de uma fibra e entrega-se uma velocidade maior ao usuário, pois não há a necessidade de dividir a banda como em uma modulação por tempo (TDM). Existem diversos tipos de WDM os quais se diferenciam principalmente pela largura e número de ondas.

Na figura 29 é enviado 2 sinais de comprimentos de onda diferentes para cada casa.



**Figura 29: Exemplo de uma transmissão WDM**  
Fonte: Price (2013)

## 5 ESTUDO DAS REDES DE PASSIVAS DE FIBRAS ÓPTICAS

### 5.1 TIPOS DE REDES FTTx

Quando falamos em transmissão de dados, o meio utilizado pode ser totalmente metálico, totalmente óptico ou um híbrido destas duas tecnologias. Neste trabalho serão abordados com mais detalhes os dois últimos itens por utilizarem da tecnologia de fibra.

Um exemplo de rede totalmente óptica é mostrada na figura 30, onde os equipamentos ativos são inseridos na central da operadora e nos usuários finais e no percurso os cabos de diferentes ambientes com caixas de terminação próxima aos usuários e caixas de emenda com Splitters nos pontos de convergência.

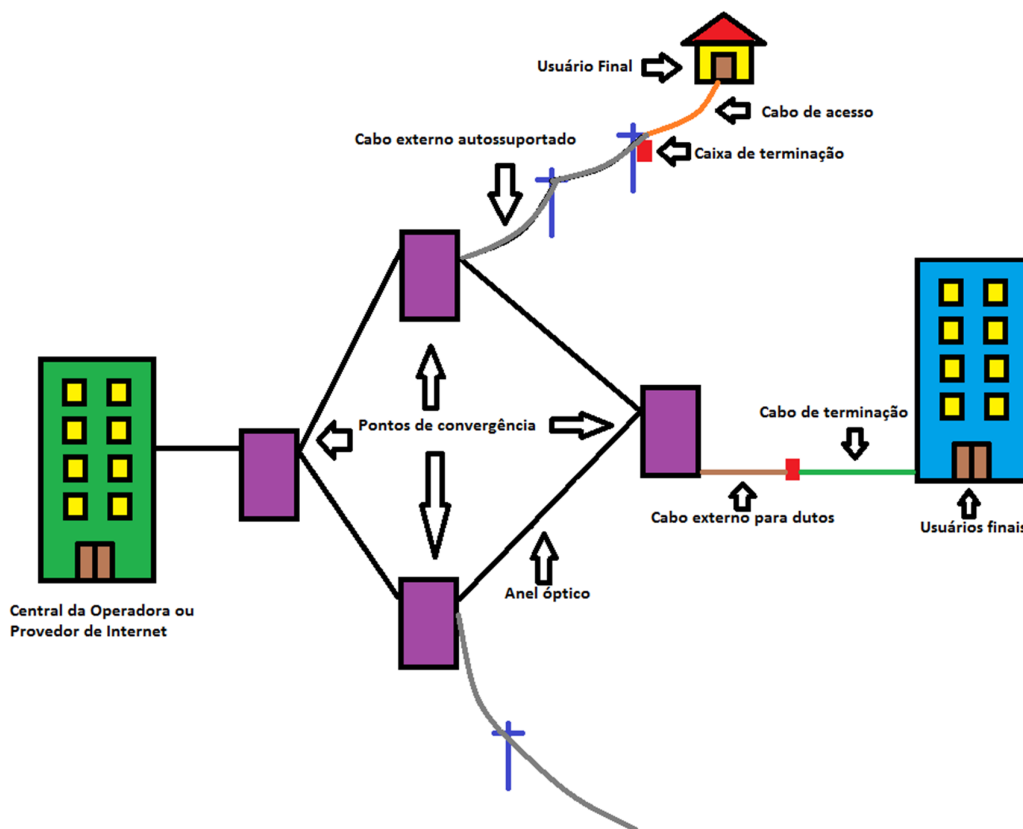


Figura 30: Exemplo de uma rede FTTH e FTTA  
Fonte: Autoria própria

Estas redes podem ser diferenciadas de acordo com a ITU-T G984.1 pelos serviços oferecidos, os quais têm níveis de qualidade e velocidade diferentes. Os mesmos podem ser medidos indiretamente pela distância da última transmissão utilizando meio óptico até o dispositivo final utilizando ou não um meio metálico para fazer o intermédio.

### 5.1.1 REDES FIBER-TO-THE-NODE (FTTN)

A rede Fiber-to-the-node tem a transmissão óptica utilizada até chegar a uma região dentro do bairro desejado que em geral tenha uma distância aproximada de 1 km até a casa do cliente, a partir disso há uma troca para cabo metálico até o destino.

Este tipo de tecnologia é usado tipicamente para acesso via ADSL, o qual de acordo com a ITU-T G.992 fornece velocidades de *downstream* de até 8 Mbit/s.

Na figura 31 está exemplificada uma rede FTTN.

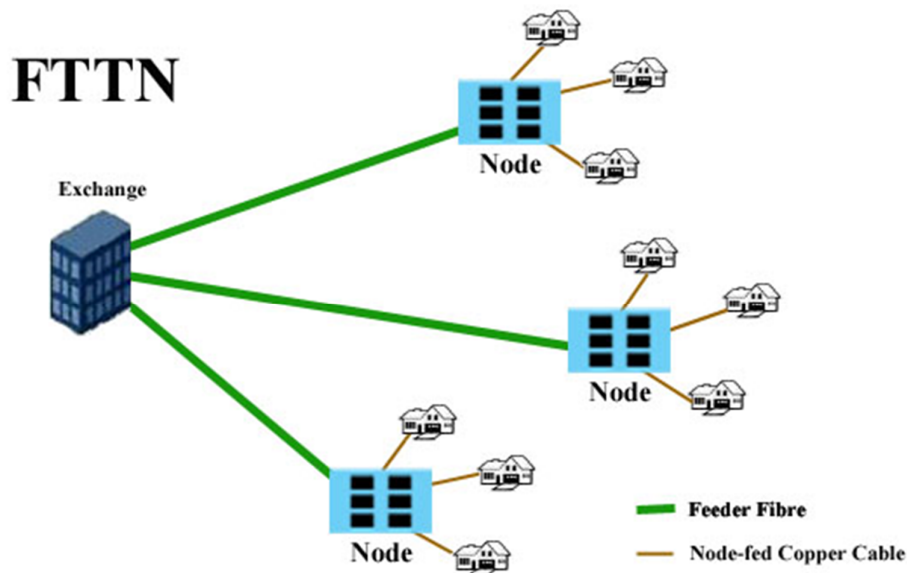


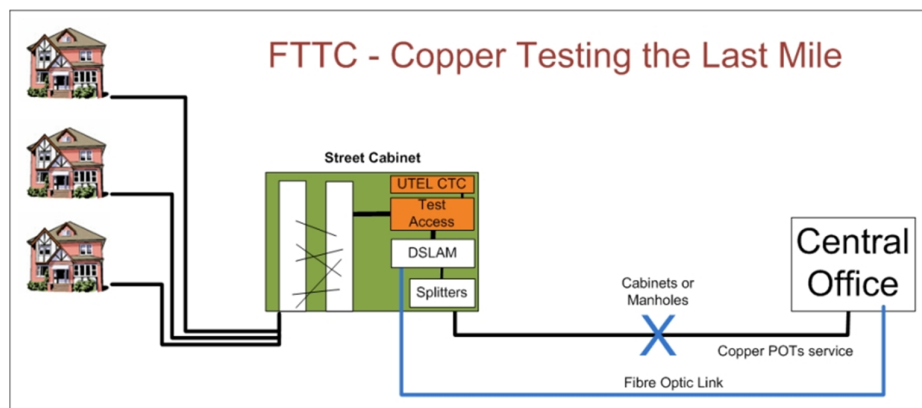
Figura 31: Exemplo de rede FTTN  
Fonte: Australian National Broadband Network (2014)

### 5.1.2 REDES FIBER-TO-THE-CURB (FTTC)

Já a rede Fiber-to-the-curb (figura 32) tem a transmissão óptica utilizada até a parte externa da casa ou apartamento do cliente onde existe um armário de telecomunicações numa distância que não passa de 300 metros, a partir disso há uma troca para cabos metálico até a casa do cliente.

Este tipo de tecnologia é usado tipicamente para acesso via VDSL, o qual de acordo com a ITU-T G.993 fornece velocidades de *downstream* de até 52 Mbit/s.

Se combinado com a tecnologia de cabos coaxiais esta velocidade pode ser largamente ampliada, mas ainda sim o limite é abaixo de uma rede totalmente óptica.



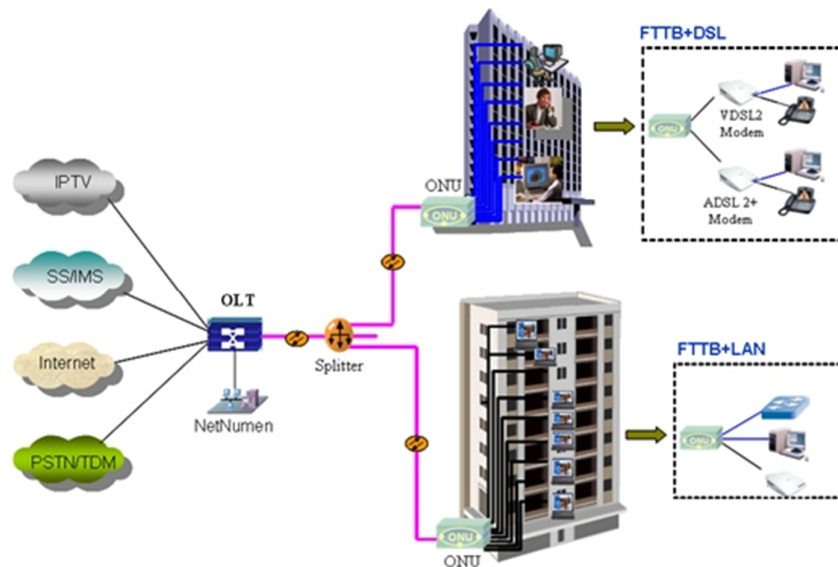
**Figura 32: Exemplo de rede FTTC**  
Fonte: FTTC Copper Testing (2014)

### 5.1.3 REDES FIBER-TO-THE-BUILDING (FTTB)

A rede Fiber-to-the-building tem a transmissão óptica utilizada até a base do prédio ou casa, a partir disso há uma troca para cabos de par metálico até a casa do cliente.

Este tipo de tecnologia, dependendo da distância que cabos metálicos percorrem, já consegue atingir velocidades de redes iguais as redes PON.

Na figura 33 é demonstrado uma rede FTTB.



**Figura 33: Exemplo de rede FTTB**  
**Fonte: ZTE (2011)**

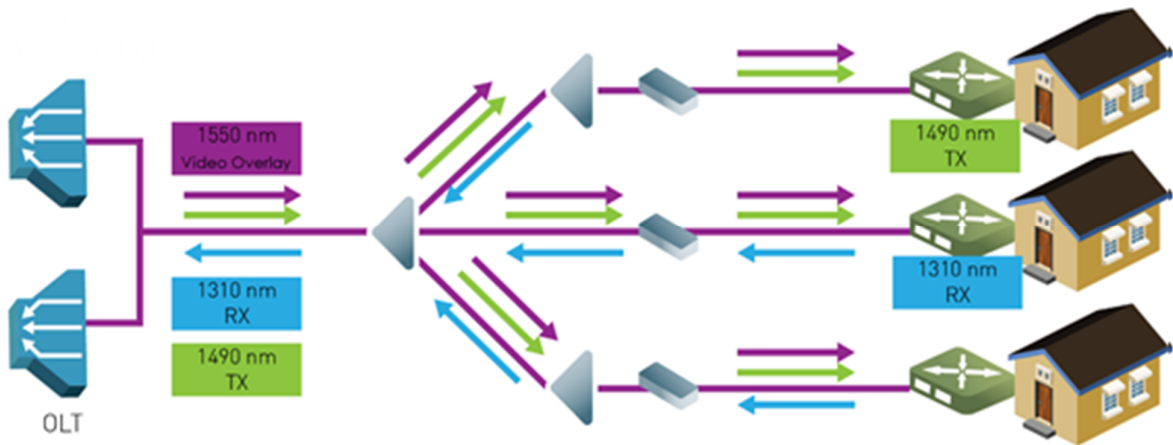
#### 5.1.4 REDES FIBER-TO-THE-HOME (FTTH)

A rede Fiber-to-the-home utiliza fibra óptica do equipamento transmissor de dados até o receptor dentro da casa do cliente. Nessas redes a fibra é passada por caixas de emenda óptica e caixas de terminação até chegar ao destino. Em cada uma dessas caixas pode ser necessária ou não a troca do tipo de cabo para um cabo de menor densidade ou um cabo de acesso ou terminação para poder realizar a troca de ambiente com um mesmo cabo.

Devido ao fato de ser uma rede inteiramente óptica, conhecida como rede passiva, a velocidade de transmissão depende inteiramente do sinal emitido nos transmissores e do nível de divisão do sinal (“splitagem”). Atualmente no Brasil utiliza-se as redes EPON (*Ethernet passive optical network*) e GPON (*Gigabit-capable Passive Optical Networks*) padronizados pela IEEE e ITU que podem chegar a velocidades máximas de 1,25 Gbit/s e 2,5 Gbit/s, respectivamente. Em alguns lugares já se utiliza da tecnologia

capaz de transmitir a 10 Gbit/s neste tipo de rede, a 10G-EPON e a XG-PON.

Na figura 34 pode-se ver uma rede FTTH, com a transmissão de dados, voz e vídeo simultâneos, conhecidos como *triple play*, até o usuário final.

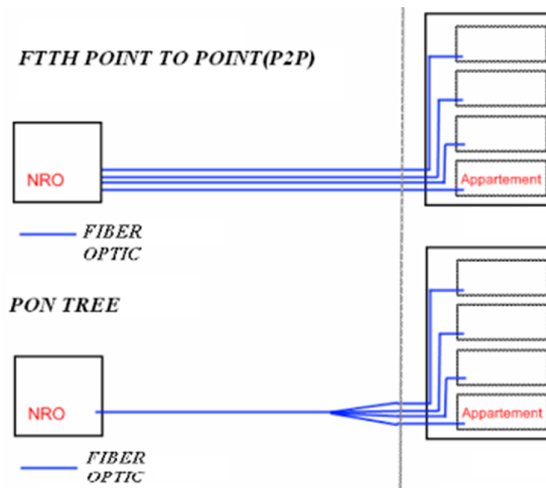


**Figura 34: Exemplo de rede FTTH**  
Fonte: Furukawa Brasil (2014)

#### 5.1.5 REDES FIBER-TO-THE-APARTMENT (FTTA)

Assim como a rede FTTH, a rede FTTA tem fibra óptica chegando até a casa do cliente proporcionando grandes velocidades de *downstream* e *upstream*. A diferença entre as duas redes está na realização de uma penetração dentro de um prédio, contando com mais componentes como o DIO e DGIO para distribuir o sinal nos andares.

Na figura 35 é mostrada uma rede FTTA, aonde a fibra óptica da central vai até o apartamento do usuário. Neste caso é possível verificar uma conexão ponto-a-ponto com a operadora ou ponto-a-multiponto com um nível de divisão de sinal antes de chegar à ONU.



**Figura 35: Exemplos de rede FTTH**  
**Fonte: Fiber Optics Communication (2009)**

## 5.2 TIPOS DE TOPOLOGIAS DE REDES

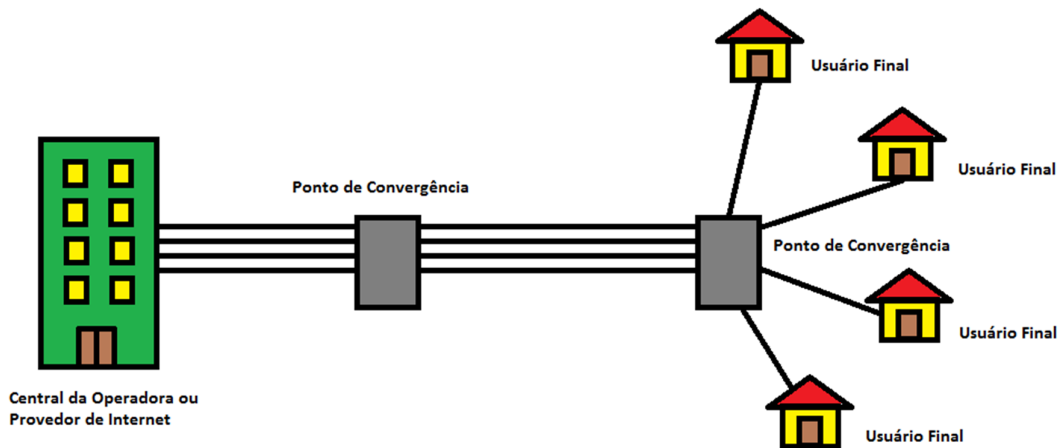
Quando se está trabalhando em uma rede FTTx a distribuição do sinal deve ser calculado com cautela para que não seja necessário o lançamento de mais cabos que o necessário. Para isto deve-se realizar um planejamento do local em que haverá a instalação.

As redes podem ser resumidas em três formas mais comumente utilizadas: a rede centralizada (gerenciamento do sinal realizada na operadora), a rede com convergência local (coordenação do sinal realizado em um ponto intermediário da rede) e a rede com Splitters distribuídos (manejo do sinal realizado em vários pontos da rede). Cada um com sua vantagem e desvantagem.

### 5.2.1 REDE CENTRALIZADA

A rede centralizada (figura 36) realiza toda divisão de largura de banda das fibras dentro da central de dados realizando uma conexão ponto-a-ponto com todos os clientes, facilitando a manutenção da rede, todavia aumentando o número de fibras necessárias para chegar aos destinos desejados.



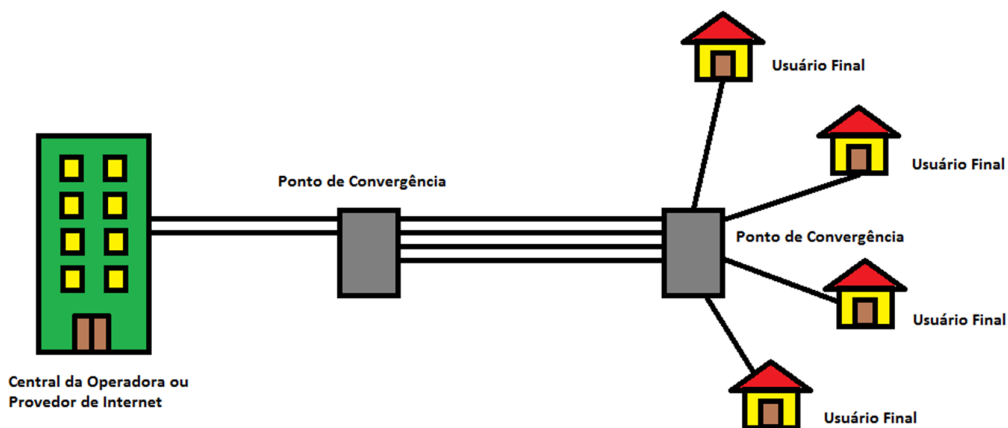


**Figura 36: Exemplo de rede centralizada**  
**Fonte: Autoria Própria**

Como existe uma fibra para cada usuário, a largura de banda pode ser feita de maneira que não é dividida (sem Splitters) alcançando maiores velocidades. Em contrapartida não só mais fibras serão necessárias, como também mais equipamentos transmissores se não houver divisão do sinal.

### 5.2.2 REDE COM CONVERGÊNCIA LOCAL

A rede com convergência local, exemplificada na figura 37, tem uma divisão de Splitters realizada fora da central em uma região intermediária entre o início e o fim do trajeto. Deste modo menos fibras são necessárias.

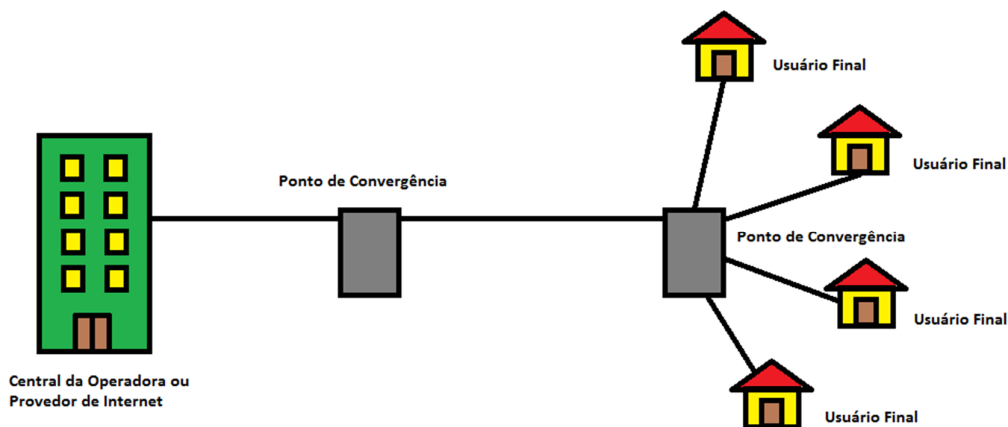


**Figura 37: Exemplo de rede com convergência local**  
**Fonte: Autoria Própria**

Este planejamento possui um custo intermediário, porém o compartilhamento da largura de banda se torna obrigatório. Ele tem uma taxa de penetração média, sendo ideal para regiões onde não existe uma quantidade muito grande de usuários, sendo proporcional a taxa de divisão do sinal conforme a norma do método de transmissão de dados.

### 5.2.3 REDES COM SPLITTERS DISTRIBUÍDOS

A rede com Splitters distribuídos, conforme figura 38, é ideal para locais com alta taxa de penetração. A divisão do sinal fica cada vez mais próxima do usuário final e, portanto necessitando de poucas fibras para chegar ao usuário final.



**Figura 38: Exemplo de rede com Splitters distribuídos**  
Fonte: Autoria Própria

Dentre as vantagens desta rede está o baixo custo de implantação e a maior possibilidade de penetração devido ao aproveitamento da infraestrutura. Entretanto, a divisão da largura de banda nesses casos podem limitar bastante as velocidades de *downstream* e *upstream*.

## 6 DIFERENÇAS DO EPON/10G-PON E GPON/XG-PON

Como descrito neste trabalho, existe mais de uma forma de transmissão de dados numa rede PON, elas são diferenciadas por duas

vertentes uma normatizada pela IEEE e outra pela ITU. Elas se distinguem pelo número de usuários máximos por transmissão, taxa de bits e distância que os dados podem percorrer.

No quadro 1 é possível ver as principais características da transmissão das redes normatizadas pela IEEE.

**Quadro 1: Características de transmissão E-PON e 10G-PON**

IEEE				
Protocolo	Norma	Transmissão	Distância	Taxa de Divisão
E-PON (Ethernet Capable Passive Optical Network)	IEEE 802.3 ah	1,25 Gbps para <i>Downstream</i> 1,25 Gbps para <i>Upstream</i>	Até 20 km	Até 64
10G-EPON (10 Gigabit Ethernet Capable Passive Optical Network)	IEEE 802.3 av	10 Gbps para <i>Downstream</i> 10 Gbps para <i>Upstream</i>	Até 20 km	Até 128

Fonte: Adaptada de ITU

No quadro 2 é possível ver as principais características das tecnologias normatizada pela ITU.

**Quadro 2: Características de transmissão G-PON e XG-PON**

ITU-T				
Protocolo	Norma	Transmissão	Distância	Taxa de Divisão
G-PON (Gigabit Capable Passive Optical Network)	ITU G.984	2,5 Gbps para <i>Downstream</i> 1,25 Gbps para <i>Upstream</i>	Até 20 km Até 60 km com repetidor	Até 128
XG-EPON (10 Gigabit Capable Passive Optical Network)	ITU G.987	10 Gbps para <i>Downstream</i> 2,5 Gbps para <i>Upstream</i>	Até 20 km Até 60 km com repetidor	Até 256

Fonte: Adaptada de ITU

Atualmente estudam-se a normatização de novas tecnologias para a transmissão de 40Gbps com a rede PON.

Estas tecnologias são relativamente novas e existem divergências entre as normas que as regem, porém o funcionamento delas é muito similar inclusive se diferenciando apenas nos componentes ativos, pois usam o mesmo tipo de rede passiva.

## 7 PON VS OUTRAS REDES

### 7.1 xDSL

As redes PON utilizam meios com capacidade de transmissão mais eficientes que as outras redes como a xDSL, onde há a troca da transmissão para cabos metálicos. No quadro 3, podemos ver alguns exemplos de transmissões xDSL.

**Quadro 3: Características de transmissão xDSL em cabos de pares trançados**

xDSL em cabos de pares trançados		
Protocolo	Norma	Transmissão
UDSL (High-Bit-Rate digital Subscriber Line)	ITU-T 992.2	1,5 Mbps para <i>Downstream</i> 512 Kpbs para <i>Upstream</i>
ADSL (Asymmetric digital Subscriber Line)	ITU-T 992.2	8 Mbps para <i>Downstream</i> 1 Mpbs para <i>Upstream</i>
VDSL (Very-High-Bit-Rate digital Subscriber Line)	ITU-T 993.1	55 Mbps para <i>Downstream</i> 2,5 Gpbs para <i>Upstream</i>
VDSL2 (Very-High-Bit-Rate digital Subscriber Line)	ITU-T 993.2	100 Mbps para <i>Downstream</i> 100 Mpbs para <i>Upstream</i>

Fonte: Adaptada ITU

As velocidades do xDSL dependem muito do meio em que os sinais são transmitidos e, conforme normas específicas da ITU, podem ser reduzidas mais ainda com o trecho de transmissão em cabos metálicos (BERNAL; SERGIO; FALBRIARD, 2002).

### 7.2 HFC

Quando comparado a xDSL com a tecnologia HFC (Hybrid Fibre-coaxial), com o uso de fibras juntamente com cabos coaxiais, maiores velocidades podem ser alcançadas devido as características destes cabos. Esta tecnologia é regida pelas normas DOCSIS 1.0, 2.0 e 3.0, que foram eventualmente aprovadas pela ITU sob o nome de J.112, J.122 e J.222, respectivamente. Recentemente foi lançada a DOCSIS 3.1 mas que ainda não apresenta muitos dados experimentais nas redes.

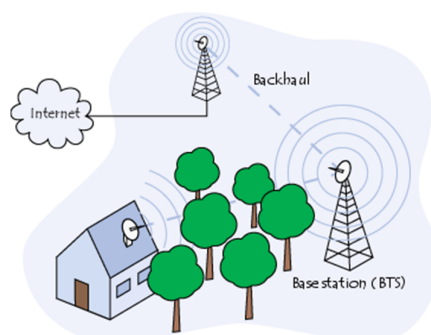
Em suas últimas versões esta tecnologia já suporta o IPv6 e velocidades de transmissão altas comparadas ao xDSL. Apesar de existirem algumas divergências entre as normas DOCSIS (Estados Unidos) e o EuroDOCSIS (Europa) as velocidades que podem ser entregues são similares, de 912 Mbps e 1,2 Gbps respectivamente para *downstream* e 216 Mbps de *upstream* para ambas.

Apesar da alta velocidade de transmissão, se comparado a uma rede PON, seu custo de manutenção é mais elevado e seu ciclo de vida menor (JUNIOR, 2012).

É importante lembrar que assim como todas as redes xDSL ou PON, a capacidade máxima de *downstream* e *upstream* só é alcançada se não houver divisão de banda entre os usuários.

### 7.3 REDES SEM FIO

Outro tipo de redes utilizadas aqui no Brasil, são as redes sem fio ou redes de rádio, conhecidas como Wi-Fi e WiMAX respectivamente.



**Figura 39: Rede WiMAX com obstáculos físicos**  
**Fonte: Teleco (2013)**

A vantagem destes tipos de rede é a ausência de instalação de uma infraestrutura de cabeamento pesada, necessitando de cabo apenas até o local da antena de transmissão. Contudo, o uso do ar como meio para enviar e receber sinais resulta em grandes perdas e velocidades reduzidas se comparadas com outras formas mais atuais. A tendência é que esta

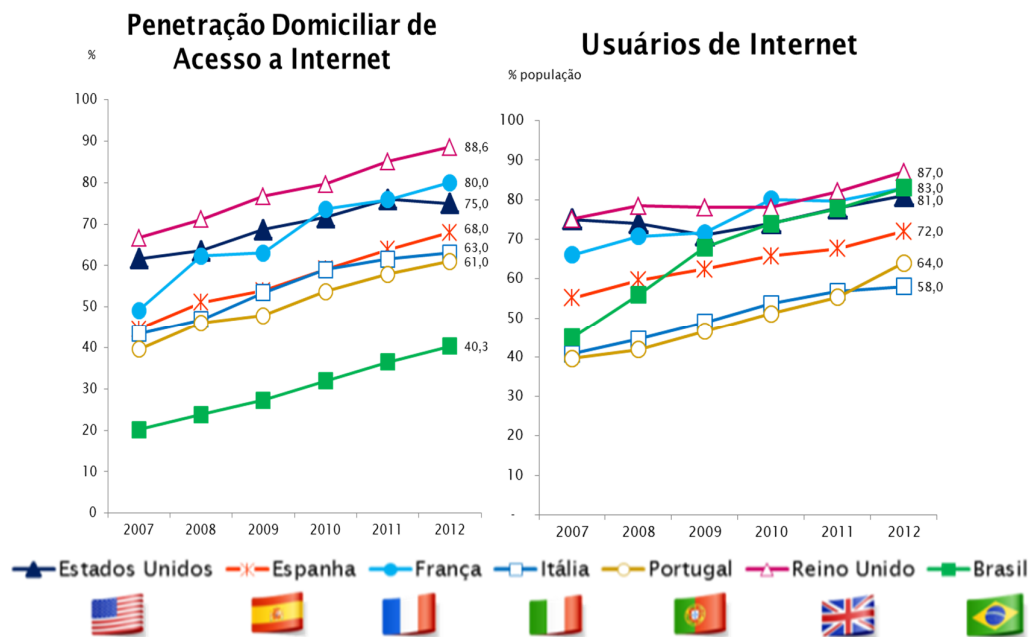
tecnologia permaneça em zonas de difícil acesso (TELECO), como demonstrado na figura 39.

As normas que regem estas transmissões são a IEEE 902.11 para Wi-Fi e IEEE 802.16 para WiMAX.

## 8 IMPLANTAÇÃO DAS REDES NO BRASIL E NO MUNDO

### 8.1 REDES FTTx NO MUNDO

Atualmente os países mais desenvolvidos como a Inglaterra, França e Estados Unidos atingem uma penetração domiciliar de acesso à internet em torno de 80% e têm um número de usuários de internet um pouco maior que isto, aproximadamente 83% (ITU, 2012). Isto mostra (figura 40), que países desenvolvidos já conseguem atingir um número de pessoas com acesso a internet em casa similar ao de pessoas com acesso a internet.



**Figura 40: Penetração domiciliar de acesso a internet e usuários de internet**  
 Fonte: Teleco (2013)

## 8.2 REDES FTTx NO BRASIL

Atualmente o Brasil tem 201,8 milhões de habitantes, porém apenas 40,3% tem acesso à internet em casa (IBGE, 2013), mesmo assim contamos com 83% da população como usuária ativa de internet (ITU, 2012). Com estes dados podemos concluir que há sim uma demanda por internet, mas que ainda não há serviços oferecidos a população a um preço acessível. Uma pesquisa feita pela FGV em 15 países aponta que a internet no Brasil é uma das mais caras do mundo.

**Quadro 4: Comparação do custo da internet nos países**

POSIÇÃO	PAÍS	PREÇO DE 1 MBPS (EM US\$) POR MÊS	RENDA PER CAPITA POR HORA (EM US\$)	HORAS PARA PAGAR INTERNET
1°	Argentina	46	8,92	5,15
2°	Brasil	25,06	5,00	5,01
3°	África do Sul	19,04	5,57	3
4°	Chile	23,04	8,5	2,71
5°	Polônia	13	10	1,3
6°	Portugal	10,99	12	0,91
7°	Canadá	6,5	20	0,32
8°	Holanda	4,31	22	0,2
9°	Finlândia	2,77	19	0,14
10°	Estados Unidos	3,33	25	0,13
11°	Noruega	4,04	32	0,12
12°	França	1,64	18	0,09
13°	Suécia	0,63	21	0,03
14°	Coreia do Sul	0,45	15	0,03
15°	Japão	0,27	18	0,015

Fonte: UOL (2013)

Uma pesquisa feita no Brasil em dezembro de 2012 mostrou que contamos com apenas 124 mil acessos por FTTH e 1,2 milhões de casas com acesso à fibra (IDATE, 2012), mostrando que ainda há uma grande parte da população com acesso a serviços de banda larga com velocidades abaixo da tecnologia mais atual e o grande mercado de usuários de banda larga.

Ainda sim estão sendo feitos diversos investimentos nesta área para que se possa aproveitar todo este potencial.

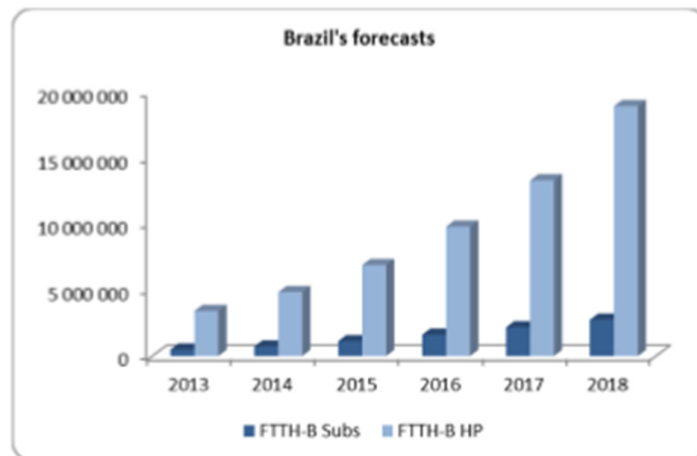
### 8.2.1 DESAFIOS

Como desafios da instalação de uma rede FTTx no Brasil falta o entendimento completo desta inovação por parte das operadoras e provedores de internet, pois a tecnologia de redes PON ainda está em fase de maturação como mostrado anteriormente e existem muitos componentes e tecnologias a serem estudados e implementados.

Outro desafio é o fato de algumas normas ou legislações Brasileiras, como a PL-29, demorarem muito tempo para serem aprovadas (COMPUTERWORLD, 2009), causando um atraso na evolução das redes de telecomunicações do Brasil.

### 8.2.2 FUTURO DA REDE

O futuro da rede no Brasil, como mencionado, depende apenas dos investimentos por parte das operadoras e provedores de internet e da criação e atualização de normas e legislações brasileiras para novas tecnologias que ainda não foram inseridas no nosso contexto.



**Figura 41: Forecast de FTTH para o Brasil**  
Fonte: IDATE (2013)



A previsão para o Brasil em 2018 é que tenhamos aproximadamente 20 milhões de casa com acesso à fibra e um quarto disto com assinatura de banda larga sendo trazido por elas, conforme gráfico (IDATE, 2013) representado na figura 41.

## **9 CONCLUSÃO**

As redes FTTx ainda estão crescendo muito no Brasil e no mundo e sua velocidade de transmissão é limitada somente pela tecnologia dos equipamentos ativos em conseguir transmitir e receber os sinais. Esta acaba se tornando uma grande vantagem, pois se criam redes “a prova de futuro”, onde não é necessário mais investimentos por parte das operadoras e provedoras de internet em cabeamento apenas na troca de novos equipamentos transmissores e receptores, reduzindo o custo para o cliente final.

O Brasil é hoje um mercado potencial, pois apresenta grande parte da população com acesso a internet através de tecnologias antigas que podem ser renovadas, porém ainda sofre com altos custos de internet e legislações e normas que atrasam a evolução das redes de telecomunicações.

Esta tecnologia ainda não está tão consolidada como a das redes metálicas e, portanto, muitos termos e normas ainda não estão plenamente definidos podendo existir divergências entre um estudo e outro. Um grande exemplo são as próprias transmissões E-PON e G-PON as quais utilizam os mesmos meios de transmissão, mas que tem características de transmissão diferentes.

## 10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **ANATEL: Agência Nacional de Telecomunicações**, 2014. Disponível em: <[www.anatel.gov.br/](http://www.anatel.gov.br/)>. Acesso em: 20 Ago. 2014.
- [2] Australian National Broadband Network, **Fiber to the Node**. Disponível em: <[http://lifespices.net/nbn/?page\\_id=38/](http://lifespices.net/nbn/?page_id=38/)>. Acesso em: 04 Set. 2014.
- [3] **BM Conectividade**, 2014. Disponível em: <<http://www.bmconectividade.com.br/>>. Acesso em: 28 Ago. 2014.
- [4] CAETANO, Saul Silva. **Comunicações Ópticas II**, 2011. Disponível em: <<http://www.sj.ifsc.edu.br/~saul/sistemasópticos/comunicacoesópticasII.PDF>>. Acesso em: 02 Set. 2014.
- [5] FERNANDES, Fausto. **Governo é um dos obstáculos para a rede FTTH no Brasil**, 2010. Disponível em: <[http://www.ipnews.com.br/telefonaiip/index.php?option=com\\_content&view=article&id=18090:governo-m-dos-obstlos-para-a-rede-ftth-no-brasil](http://www.ipnews.com.br/telefonaiip/index.php?option=com_content&view=article&id=18090:governo-m-dos-obstlos-para-a-rede-ftth-no-brasil)>. Acesso em: 15 Ago. 2014.
- [6] **FIBRACEM**, 2014. Disponível em: <[www.fibracem.com.br/](http://www.fibracem.com.br/)>. Acesso em: 22 Ago. 2014.
- [7] **Fibranett**, 2014. Disponível em: <<http://www.fibranett.com.br/servico01.htm/>>. Acesso em: 01 Set. 2014.
- [8] FTTC Copper Testing, **Fibre to the Cabinet (FTTC) Copper Testing the Last Mile**. Disponível em: <<http://www.fttcoppertesting.eu/>>. Acesso em: 04 Set. 2014.
- [9] **FURUKAWA Brasil**, 2014. Disponível em: <[www.furukawa.com.br/](http://www.furukawa.com.br/)>. Acesso em: 20 Ago. 2014.
- [10] **FURUKAWA Japão**, 2014. Disponível em: <<https://www.furukawa.co.jp/>>. Acesso em: 20 Ago. 2014.
- [11] GAYATRI, Dhanwada Devi. **Optical Fiber At Home**, 2009. Disponível em: <<http://fiber-optics-communication.blogspot.com.br/2009/07/optical-fiber-at-home.html/>>. Acesso em: 02 Set. 2014.
- [12] GILMORE, Mike. **An Overview of singlemode optical fibre specifications**, 2012. Disponível em: <<http://www.fia-online.co.uk/pdf/Whites/wp0704.pdf>>. Acesso em: 15 Ago. 2014.
- [13] Huawei, **From GPON to 10G GPON**. Disponível em: <<http://www.huawei.com/en/about-huawei/publications/communicate/hw-081018.htm>>. Acesso em: 09 Ago. 2014.

- [14] **IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2014. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 20 Ago. 2014.
- [15] **IDATE: Digital Institute**, 2014. Disponível em: <[www.idate.org/](http://www.idate.org/)>. Acesso em: 20 Ago. 2014.
- [16] **IEEE: The world's largest professional association for the advancement of technology**, 2014. Disponível em: <<https://www.ieee.org/>>. Acesso em: 20 Ago. 2014.
- [17] **ITU: Committed to connecting the world**, 2014. Disponível em: < <http://www.itu.int/>>. Acesso em: 20 Ago. 2014.
- [18] JUNIOR, John A. Brouse. **Fiber Access Network A cable operator's Perspective**, 2012. Disponível em: <<http://www.fia-online.co.uk/pdf/Whites/wp0704.pdf>>. Acesso em: 15 Ago. 2014.
- [19] KIOSKEA.NET, **WiMAX - 802.16 - Worldwide Interoperability for Microwave Access**, 2014. Disponível em: <<http://en.kioskea.net/contents/808-wimax-802-16-worldwide-interoperability-for-microwave-access>>. Acesso em: 09 Set. 2014.
- [20] **Ponlan**, 2014. Disponível em: < <http://www.ponlan.com.br/detalhe-produto/cabos-de-fibra-optica/>>. Acesso em: 01 Set. 2014.
- [21] PRICE, Cris. **Let's do WDM PON**, 2011. Disponível em: < <http://www.punk.co.nz/2013/09/>>. Acesso em: 02 Set. 2014.
- [22] RODRIGUEZ, Asis. **Fibra Optica, qué es y cómo funciona**, 2010. Disponível em: < <http://www.fibraopticahoy.com/fibra-optica-que-es-y-como-funciona/>>. Acesso em: 02 Set. 2014
- [23] SOARES, Edileuza. **O que muda no mercado de TV por assinatura com o PL 29**, 2009. Disponível em: <<http://computerworld.com.br/telecom/2009/11/29/o-que-muda-no-mercado-de-tv-por-assinatura-com-o-pl-29/>>. Acesso em: 05 Ago. 2014.
- [24] **Telcordia Technologies Inc**, 2014. Disponível em: <<https://http://www.telcordia.com/>>. Acesso em: 20 Ago. 2014.
- [25] **TELECO** 2014. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br>>. Acesso em: 09 Ago. 2014.
- [26] **TIA: Telecommunications Industry Association**, 2014. Disponível em: <[www.tiaonline.org/](http://www.tiaonline.org/)>. Acesso em: 20 Ago. 2014.
- [27] UOL, **Banda larga no Brasil é a 2ª mais cara entre 15 países, diz pesquisa**, 2013. Disponível em:

<<http://economia.uol.com.br/noticias/redacao/2013/05/14/banda-larga-no-brasil-e-a-2-mais-cara-entre-15-paises-diz-pesquisa.htm>>. Acesso em: 09 Ago. 2014.

[28] **W&Interfaces**, 2014. Disponível em: < <http://www.wut.de/e-61201-wwdade-000.php/>>. Acesso em: 01 Set. 2014.

[29] ZTE, **ZTE FTTB Help Fiber In/ Copper Out Network in A Low TCO Way**. Disponível em: < [http://www.en.zte.com.cn/pub/en/solutions/access/201111/t20111124\\_264965.html](http://www.en.zte.com.cn/pub/en/solutions/access/201111/t20111124_264965.html)>. Acesso em: 04 Set. 2014.