



## **ANÁLISE DE BALANÇO DE POTÊNCIA DE UMA REDE GPON: ESTUDO DE CASO COMO GUIA PARA ALUNOS DE ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES**

**Resumo:** Diante das dificuldades de se projetar adequadamente redes GPON (Gigabit Passive Optical Network) utilizando-se arquitetura FTTx (Fiber to the \*anywhere), este trabalho traz uma análise dos requisitos a serem avaliados no cálculo do balanço de potência da rede, com especial atenção às perdas provocadas pelo uso de splitters ópticos e pelas emendas por fusão e por conectores. Descrevemos cada componente de uma rede GPON, comparando os diferentes tipos de equipamentos visando a uma análise das variações de atenuação que cada um deles fornece ao sistema. Por fim, apresentamos uma comparação do cálculo de balanço de potência da rede em diversos cenários, visando prover um entendimento do quão importante é um planejamento bem equilibrado para a implementação de uma rede GPON viável e que atenda às demandas dos clientes, dentro da análise financeira disponível para o projeto. Concluindo que a utilização de splitters de diferentes divisores faz uma diferença substancial tanto no cálculo do balanço de potência.

**Palavras-chave:** GPON, FTTx, balanço de potência, conectores, *splitters* ópticos.

### **1. INTRODUÇÃO**

Devido ao gigantesco crescimento das comunicações nos últimos anos, cada vez mais os usuários necessitam de maiores taxas de transmissão para utilização da rede, seja para assistir um *streaming* de vídeo, para fazer uma videoconferência ou simplesmente para fazer *download* de um filme. Além disso, outros serviços estão sendo agregados à rede e vêm ganhando muito espaço entre os consumidores, como a telefonia IP (VoIP) e o CATV (TV a cabo) (TELECO,2016).

Para atender a essa demanda dos usuários, é de fundamental importância que as empresas e provedores de serviços utilizem as fibras ópticas como meio de transmissão ao invés de cabos metálicos, devido à maior taxa de transmissão e largura de banda, baixo custo, maior escalabilidade e maior segurança de tráfego (AMAZONAS, 2005).

Nesse cenário, as redes PON (*Passive Optical Network*), ou Redes Ópticas Passivas, têm conquistado uma grande fatia do mercado, visto que são redes de comunicação que utilizam fibras ópticas interligadas na arquitetura ponto-multiponto, sendo constituídas apenas por componentes ópticos que não requerem alimentação elétrica (componentes passivos), o que gera uma diminuição de custos.

A rede GPON (*Gigabit Passive Optical Network*), que é um dos tipos de redes PON, é objeto de estudo deste trabalho, devido a sua grande aplicação em vários países. O GPON é um padrão definido pela *International Telecommunication Union* (ITU-T), e



suas especificações e recomendações estão definidas no G.984.x (G.984.1, G.984.2, G.984.3, G.984.4, G.984.5, G.984.6). As taxas de transferência no GPON são assimétricas, ou seja, diferentes nos sentidos de *downstream* e *upstream*. No sentido de *downstream* a taxa de transferência é de 2,5 Gbps, enquanto, no sentido de *upstream*, a taxa de transferência é de 1,25 Gbps. A rede GPON utiliza fibras monomodo, e seu enlace máximo é de 20 km, visto que não são utilizados amplificadores na rede (TELECO,2016).

Segundo LOEPPER (2013), a utilização de fibras ópticas para soluções de acesso nas redes PON são comumente referenciadas como FTTH (*Fiber to the “X”* - fibra até “X”), onde X pode ser FTTH (*home* - casa), FTTA (*apartment* - apartamento), FTTB (*building* - prédio), FTTN (*node* - nó) ou FTTC (*cabinet* - armário).

Apesar das diversas vantagens de uma rede GPON, projetistas iniciantes, muitas vezes, encontram dificuldades na escolha dos melhores equipamentos e dispositivos passivos que viabilizem um cenário otimizado quanto aos custos e quanto ao balanço de potência do projeto.

Neste sentido, o principal objetivo deste trabalho é contribuir com um referencial teórico para auxiliar engenheiros de telecomunicações na análise do cálculo do balanço de potência, durante o planejamento de implementação de uma rede GPON usando a arquitetura FTTH.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para fundamentar este trabalho, foi realizada uma pesquisa no portal Google Acadêmico ([scholar.google.com.br](http://scholar.google.com.br)), com a expressão “balanço de potência em redes GPON”, sendo realizada a filtragem dos últimos 5 anos (2012-2017), para serem aproveitados os últimos trabalhos na área.

FILGUEIRAS et al (2015) apresentam uma fundamentação teórica para a elaboração de um projeto de redes ópticas, usando topologia FTTH e tecnologia PON, destacando a importância do cálculo de atenuação da rede para o desempenho do sistema.

Os autores do trabalho “GPON: um estudo referencial e metodológico sobre construção de redes” apresentam as características das redes ópticas GPON criando uma metodologia para o processo de construção de uma rede.

Segundo LOEPPER (2013), é necessário realizar uma boa engenharia de planejamento da rede óptica, analisando as diferentes topologias que podem ser utilizadas, assim como da distribuição de bandas entre usuários. Além disso, eles destacam que a utilização dos equipamentos de medições ópticas deve ser reavaliada utilizando os divisores ópticos como elementos demarcadores da rede.

SILVA (2016) descreve os passos realizados para implementação de uma rede FTTH por uma empresa em um bairro da cidade de Parnamirim-RN.



No trabalho “Redes GPON como solução para FTTH”, os autores sugerem a implantação de uma rede GPON como solução FTTH para um condomínio residencial, concluindo que o GPON é uma das melhores soluções para se levar múltiplos serviços de telecomunicações às residências.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os principais componentes que caracterizam as redes GPON são:

- **OLT: Terminal de Linha Óptica.** Ele está localizado na central, constituindo-se em porta de enlace entre a rede de acesso e a rede metropolitana. A OLT controla e administra a transmissão das ONTs, precisando de um receptor que opere em modo rajada (volumes esporádicos de tráfego).
- **DGO (Distribuidor Geral Óptico):** é um equipamento mecânico responsável por organizar as fibras ópticas e conectá-las com as portas da OLT.
- **Cabo óptico:** É constituído por várias fibras do mesmo tipo, revestidas de materiais que proporcionam alta proteção e resistência às variações do ambiente externo. Podem ser auto sustentado ou *drop*. Importante salientar o planejamento da reserva técnica, que deve ser utilizada para auxiliar na emenda de futuros rompimentos da fibra. Calcula-se 10% do total da fibra para a reserva técnica, para caso haja uma ruptura na fibra ser feita uma emenda.
- **CEO (Caixa de Emenda Óptica):** é uma estrutura mecânica, onde se conectam as extremidades dos cabos ópticos unidas em um organizador para proteger as fibras e dispositivos ópticos passivos. Nela pode conter *splitter* ou não.
- **Splitter (Divisor óptico passivo):** O *Splitter* Óptico, ou Divisor Óptico, é um elemento passivo utilizado em Redes PON que realiza a divisão do sinal óptico proveniente de uma fibra para várias outras. Pode ser 1:N ou 2:N (redundância da rede).
- **CTO (Caixa de terminação óptica):** tem a função de conectar a rede externa com a rede interna através de fusão ou conectores. Geralmente é o último componente externo antes da chegada às instalações do cliente.
- **ONT: Terminal de Rede Óptica.** É uma espécie de modem óptico, que fica localizado na casa do cliente. Exclusivo para configuração FTTH e FTTB, onde a fibra chega diretamente na casa do usuário.

No planejamento de implementação de uma rede GPON, o projetista deve atentar a dois cálculos básicos: a largura de banda a ser entregue a cada cliente; e o balanço de potência, para que o sinal transmitido possa chegar ao seu destino final.

Para fazer o cálculo do balanço de potência é necessário analisar os fatores que interferem na potência transmitida, que ao final do enlace deve estar dentro do limite de sensibilidade do receptor. Devem ser considerados os seguintes parâmetros (TAKEUTI, 2005):

Organização



Promoção





- potência de saída de transmissão;
- sensibilidade do receptor;
- coeficiente de atenuação do cabo óptico (db/km) no seu comprimento de onda;
- atenuação máxima das emendas por fusão;
- atenuação máxima dos conectores;
- atenuação máxima dos *splitters* (divisores ópticos passivos).

A potência de saída do transmissor, a sensibilidade do receptor e o coeficiente de atenuação da fibra, variam de acordo com o equipamento a ser utilizado, mas normalmente essa variação é muito pequena. A potência de saída de uma OLT varia entre 5 e 6 dBm; a sensibilidade de uma ONT entre -27 e -28 dbm; e o coeficiente de atenuação da fibra monomodo na 3ª janela de transmissão varia entre 0,2 a 0,3 db/km. Diante disso, serão analisados neste trabalho os *splitters* e as emendas por fusão e por conectores.

## 4. METODOLOGIA

Para a análise do balanço de potência, alguns aspectos devem ser observados detalhadamente, para que a atenuação na rede seja a menor possível. Os elementos que provocam atenuação são analisados, isoladamente, a seguir.

### 4.1 *Splitters* (divisores ópticos passivos)

O *Splitter* Óptico, ou Divisor Óptico, é um elemento passivo utilizado em Redes PON que realiza a divisão do sinal óptico proveniente de uma fibra para várias outras. Eles são constituídos por uma fibra de entrada e N fibras de saída, as quais dividem a potência do sinal óptico de forma proporcional entre elas, caracterizando-os como *splitters* balanceado. Podem ser emendados à fibra por fusão, por conectores ou por emendas mecânicas, onde ambos possuem atenuações específicas. Os *splitter* podem ser comercializados com ou sem conectorização, os que não tem são emendados normalmente por fusão.

É importante planejar como usar os *splitters* corretamente, para que a atenuação no sistema seja a mínima possível. Interessante questionar se é melhor usar um único *splitter* de 1:16/1:32 ou vários de 1:2/1:4/1:8. Neste estudo, foram verificados três fornecedores diferentes de *splitters* com suas respectivas atenuações, conforme tabelas abaixo:

Modelos	1:2	1:4	1:8	1:16	1:32	1:64
Perda de inserção máxima (dB)	3,7	7,1	10,5	13,7	17,1	20,5

Tabela 1 - Parâmetros de perdas dos *splitters* Furukawa

Fonte: Furukawa (adaptada)



Modelos	1:2	1:4	1:8	1:16	1:32	1:64
Perda de inserção máxima (dB)	3,7	7,3	10,5	13,7	17,1	20,7

Tabela 2 - Parâmetros de perdas dos *splitters* Fibracem

Fonte: Fibracem (adaptada)

Modelos	1:2	1:4	1:8	1:16	1:32	1:64
Perda de inserção máxima (dB)	4,0	7,4	10,7	13,7	16,9	21,0

Tabela 3 - Parâmetros de perdas dos *splitters* Senko

Fonte: Senko (adaptada)

De acordo com os parâmetros de perdas dos três *splitters* (tabelas 1, 2 e 3), foi feito um estudo de como seria possível obter uma atenuação menor com a utilização dos seus vários tipos (1:N), de acordo com a necessidade da rede para atender os clientes (tabela 4).

Nº	Atenuação dos <i>splitters</i> (em dB)		
	Furukawa	Fibracem	Senko
8	1:8 = <b>10,5</b>	1:8 = <b>10,5</b>	1:8 = <b>10,7</b>
	1:2 (3,7) + 1:4 (7,1) = <b>10,8</b>	1:2 (3,7) + 1:4 (7,3) = <b>11</b>	1:2 (4) + 1:4 (7,4) = <b>11,4</b>
	3 x 1:2 (3,7) = <b>11,1</b>	3 x 1:2 (3,7) = <b>11,1</b>	3 x 1:2 (4) = <b>12</b>
16	1:16 = <b>13,7</b>	1:16 = <b>13,7</b>	1:16 = <b>13,7</b>
	1:2 (3,7) + 1:8 (10,5) = <b>14,2</b>	1:2 (3,7) + 1:8 (10,5) = <b>14,2</b>	1:2 (4) + 1:8 (10,7) = <b>14,7</b>
	1:4 (7,1) + 1:4 (7,1) = <b>14,2</b>	1:4 (7,3) + 1:4 (7,3) = <b>14,6</b>	1:4 (7,4) + 1:4 (7,4) = <b>14,8</b>
32	1:32 = <b>17,1</b>	1:32 = <b>17,1</b>	1:32 = <b>16,9</b>
	1:2 (3,7) + 1:16 (13,7) = <b>17,4</b>	1:2 (3,7 dB) + 1:16 (13,7) = <b>17,4</b>	1:2 (4) + 1:16 (13,7) = <b>17,7</b>
	1:4 (7,1) + 1:8 (10,5) = <b>17,6</b>	1:4 (7,3) + 1:8 (10,5) = <b>17,8</b>	1:4 (7,4) + 1:8 (10,7) = <b>18,1</b>
64	1:64 = <b>20,5</b>	1:64 = <b>20,7</b>	1:64 = <b>21</b>
	1:2 (3,7) + 1:32 (17,1) = <b>20,8</b>	1:2 (3,7) + 1:32 (17,1) = <b>20,8</b>	1:2 (4) + 1:32 (16,9) = <b>20,9</b>
	1:4 (7,1) + 1:16 (13,7) = <b>20,8</b>	1:4 (7,3) + 1:16 (13,7) = <b>21</b>	1:4 (7,4) + 1:16 (13,7) = <b>21,1</b>
	1:8 (10,5) + 1:8 (10,5) = <b>21</b>	1:8 (10,5) + 1:8 (10,5) = <b>21</b>	1:8 (10,7) + 1:8 (10,7) = <b>21,4</b>

Tabela 4 - Estudo da atenuação dos diversos tipos de *splitters* (1:N)

Fonte: Autor

Organização



Promoção







Podemos observar de acordo com a tabela 4, que na quase totalidade dos casos a atenuação de um único *splitter* com maior número de divisores é menor que a soma de outros de divisores menores.

A única exceção neste estudo, na parte de atenuação, foi no uso do *splitter* 1:64, do fornecedor Senko, que resultou numa atenuação menor quando utilizamos um de 1:2 somado a um de 1:32, quando comparado a um único de 1:64. Mesmo assim a diferença foi de apenas 0,1 dB.

#### 4.2 Emendas por fusão, por conectores e mecânicas

Existem vários tipos de conectores diferentes no mercado, os mais utilizados nos *splitters* são: SC e LC, com polimentos APC e UPC.

O processo para realizar uma emenda por fusão é mais trabalhoso e os equipamentos são caros, mas em compensação a atenuação é bem menor se comparado aos conectores.

Importante salientar que na saída do transmissor e na entrada do receptor da rede, a conexão é feita exclusivamente por conectores. A escolha de qual tipo de emenda deve ser feita se restringe às conexões de entrada e saída da fibra nos *splitters* e quando a fibra se conecta a outra.

Já as emendas mecânicas é um processo de aproximação das duas fibras para que seja possível a passagem da luz de uma para outra, porém, diferentemente da fusão, elas não se tornarão uma. Geralmente, as emendas mecânicas são utilizadas temporariamente quando a fibra se rompe, para que futuramente seja feita uma fusão.

Diante disto, podemos observar que a emenda por conectores é mais simples e mais rápida de ser realizada, enquanto que por fusão a quantidade de atenuação é bem menor, mas o seu processo é mais caro e complexo.

	PERDA	CUSTO	VIDA ÚTIL
<b>Fusão</b>	0,02dB (sm) / 0,01dB(mm)	de R\$10.000,00 a R\$15.000,00	3 a 4 mil fusões
<b>Emenda</b>	0,1dB	R\$15,00 (cada)	30 anos
<b>Conector</b>	0,3dB	APC - R\$15,00/UPC R\$12,00	5 Reutilizações/1000 ciclos de conexão

Figura 1 - Quadro comparativo entre os tipos de emenda.

Fonte: <http://www.ispblog.com.br>.

## 5. RESULTADOS

Faremos um exemplo comparativo de uma aplicação prática do cálculo de balanço de potência em uma rede GPON FTTH, utilizando situações diferentes, no tocante ao uso de *splitters* e emendas por fusão e por conectores, utilizando as seguintes premissas:

- atender a um prédio residencial, de 16 andares cada, com 8 apartamentos por andar, totalizando 128 apartamentos a serem atendidos;

Organização



Promoção





- distância do provedor (OLT) ao prédio de 12 km;
- coeficiente de atenuação da fibra de 0,2 dB/km;
- potência média do transmissor de 3,5 dBm;
- sensibilidade do receptor de - 27 dBm;
- serão utilizados rolos de fibra de 2 km.

a) usando vários *splitters* de poucos divisores e emendas por conectores

Considerando que temos que atender 128 clientes, usaremos inicialmente um *splitter* de 1:2, depois de cada um deles 1:4, em seguida de cada um deles 1:16. Para chegar em cada cliente a fibra passará por 3 *splitters*. Usaremos conectores na saída da OLT, na entrada da ONT e em todas as entradas e saídas dos *splitters*, no total de 8 emendas por conectores. Calculando 10% para a reserva técnica, devemos utilizar 13 km de fibra, ou seja, teremos 7 rolos de fibra, que serão emendadas por fusão, sendo 6 emendas.

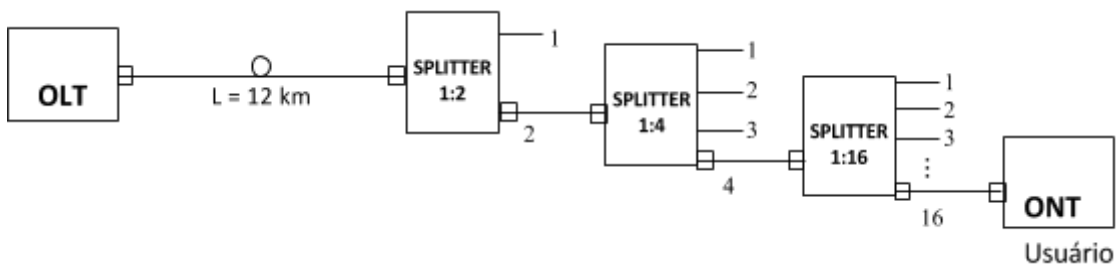


Figura 2 - Demonstração da rede do exemplo a

Fonte: Autor

CÁLCULO DO BALANÇO DE POTÊNCIA			
Cálculo das perdas que os equipamentos suportam	Potência média da OLT	-	3,5 dBm
	Sensibilidade da ONT	-	-27 dBm
	Perdas suportadas		<b>30,5 dB</b>
Cálculo da atenuação do sistema	Fibra óptica (13 km x 0,2 dB/km)	+	2,6 dB
	Emenda por fusão (6 x 0,1 dB)		0,6 dB
	Conectores (10 x 0,5 dB)		5,0 dB
	<i>Splitter</i> (3,7 + 7,1 + 13,7 dB)		24,5 dB
	Total da atenuação do sistema		<b>32,7 dB</b>
Cálculo da margem de desempenho do sistema	Perdas suportadas pelos equipamentos	-	30,5 dB
	Total da atenuação do sistema		32,7 dB



	Margem de desempenho do sistema		<b>-2,2 dB</b>
--	---------------------------------	--	----------------

Tabela 5 - Cálculo do balanço de potência do exemplo a

Fonte: Autor

b) usando poucos *splitters* de muitos divisores e emendas por fusão

Considerando que temos que atender 128 clientes, usaremos 2 splitters de 1:64. Para chegar em cada cliente a fibra passará por um *splitter* de 1:2 e outro de 1:64. Usaremos 2 conectores, um na saída da OLT e uma na entrada da ONT. Todas as emendas da fibra serão por fusão, ou seja, 6 emendas da fibra e mais 2 na entrada e saída de cada *splitter*, totalizando 10.

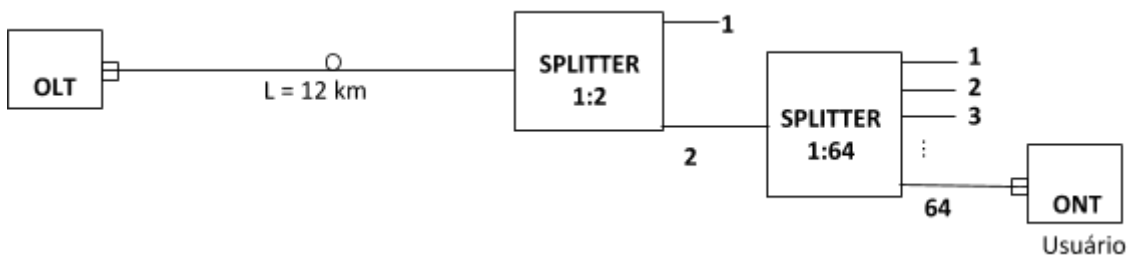


Figura 3 - Demonstração da rede do exemplo b

Fonte: Autor

CÁLCULO DO BALANÇO DE POTÊNCIA			
Cálculo das perdas que os equipamentos suportam	Potência média da OLT		3,5 dBm
	Sensibilidade da ONT	-	-27 dBm
	Perdas suportadas		<b>30,5 dB</b>
Cálculo da atenuação do sistema	Fibra óptica (13 km x 0,2 dB/km)		2,6 dB
	Emenda por fusão (10 x 0,1 dB)		1,0 dB
	Conectores (2 x 0,5 dB)	+	1,0 dB
	<i>Splitter</i> (3,7 + 20,5)		24,2 dB
	Total da atenuação do sistema		<b>28,8 dB</b>
Cálculo da margem de desempenho do sistema	Perdas suportadas pelos equipamentos		30,5 dB
	Total da atenuação do sistema	-	28,8 dB
	Margem de desempenho do sistema		<b>1,7 dB</b>

Tabela 6 - Cálculo do balanço de potência do exemplo b

Fonte: Autor





Podemos observar que no primeiro exemplo a rede é inviável, tendo em vista que a potência que chega no receptor é menor que a sua sensibilidade, já no segundo exemplo observamos que a rede é viável e ainda temos uma margem de segurança para atender satisfatoriamente o cliente. No comparativo de custo, os dois exemplos têm valores bem próximos. Comprovamos com isso a necessidade de um planejamento detalhado de dimensionamento da rede GPON e a importância de escolher o material adequado de acordo com o orçamento disponível.

## 6. CONCLUSÃO

Com a necessidade dos usuários em ter uma largura de banda cada vez maior, as redes GPON têm sido adotadas sistematicamente pelas empresas provedoras de serviços de dados, voz e CATV. Com a sua facilidade de escalabilidade e manutenção, menor preço e a sua alta taxa de tráfego de dados, vêm crescendo gradualmente. Mas para conseguir realizar a implementação desse tipo de rede de maneira viável, deve ser realizado um planejamento detalhado para atender a taxa de transmissão desejada pelos clientes e a potência a ser transmitida até o receptor.

Neste estudo, comprovamos que deve ser feita uma análise detalhada dos vários tipos de possibilidades no uso de *splitters* e emendas por fusão e por conectores no cálculo do balanço de potência, para que a transmissão consiga ser recebida no aparelho do cliente e ainda possua uma margem de segurança para a rede. Além de verificar os custos de cada equipamento a ser utilizado na rede.

A variação de perda nos *splitters* é considerável quando comparamos os seus diversos tipos (1:N) utilizados de formas diferentes (tabela 4). Ainda, observamos que as emendas por conectores são mais simples e baratas, enquanto que a atenuação nas emendas por fusão é substancialmente menor.

Além disso, é importante destacar a necessidade de constante revisão das normas técnicas das companhias de energia elétrica, para que a rede permaneça sempre dentro dos padrões legais.

O planejamento errôneo no uso dos *splitters* e no tipo de emenda pode acabar gerando uma rede inviável, em que a potência de chegada no receptor pode estar abaixo da sua sensibilidade. Para que isso não ocorra é necessário planejar corretamente de acordo com o orçamento disponível.

## REFERÊNCIAS

AMAZONAS, J. R. A. **Projeto de Sistemas de Comunicações Ópticas**. 1. ed. São Paulo: 2005.

Organização



Promoção





CRUZ, Andrine Mariana V; KONOPACKI, Mauricio Ricardo. Redes GPON como solução para FTTH. 2014. 79 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações) – Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Curitiba, 2014. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/3412>. Acessado em 06/03/17.

FILGUEIRAS, Gustavo M. G. D.; PESSOA, Cláudio R. M. FTTH em Redes Ópticas Passivas. 2015. Disponível em: <http://www.fumec.br/revistas/eol/article/view/3366>. Acessado em 06/03/17.

KEISER, G. Comunicações por fibras ópticas. 4. ed. Porto Alegre: AMGH, 696p, 2014.

LOEPPER, Luiz Gustavo Villela. GPON. 2013. 60 f. Monografia (Especialização em Teleinformática e Redes de Computadores) – Curso de Especialização em Teleinformática e Redes de Computadores, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/3243>. Acessado em 06/03/17.

PEIXOTO, Ana Caroline Bemvindo; RAMOS, Marvin Neves. GPON: um estudo referencial e metodológico sobre construção de redes. 2016, 84 f. Monografia (Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense. Campus Campos Centro. Campos dos Goytacazes (RJ), 2016. Disponível em: <http://bd.centro.iff.edu.br/bitstream/123456789/1370/1/Documento.pdf>. Acessado em 06/03/17.

SILVA, Vitor Hugo Xavier da. Implantação de uma rede FTTH. 2016, 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Redes de Computadores). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. Natal (RN), 2016. Disponível em: <http://memoria.ifrn.edu.br/handle/1044/915>. Acessado em 06/03/17.

TAKEUTI, Paulo. Projeto e dimensionamento de Redes Ópticas Passivas (PONs). 2005, 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos-SP, 2005. Disponível em: [http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18133/tde-22092005-205226/publico/Takeuti\\_Final.pdf](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18133/tde-22092005-205226/publico/Takeuti_Final.pdf). Acessado em 06/03/17.

TELECO. Redes PON I: Novas Tecnologias e Tendências. Disponível em: [www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialpontec1](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialpontec1). Acesso em 08 de Abril de 2016.