

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM REDES DE COMPUTADORES E
TELEINFORMÁTICA**

MARCO AURÉLIO DA SILVA

REDES ÓPTICAS PASSIVAS E AS REDES LAN

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2018

MARCO AURÉLIO DA SILVA

REDES ÓPTICAS PASSIVAS E AS REDES LAN

Monografia de Especialização, apresentada ao Curso de Especialização em Redes de Computadores e Teleinformática, do Departamento Acadêmico de Eletrônica – DAELN, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas

CURITIBA

2018



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Curitiba

Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Departamento Acadêmico de Eletrônica
Curso de Especialização em Redes de Computadores e
Teleinformática



TERMO DE APROVAÇÃO

REDES ÓPTICAS PASSIVAS E AS REDES LAN

por

MARCO AURÉLIO DA SILVA

Esta monografia foi apresentada em 23 de Julho de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Redes de Computadores e Teleinformática. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas
Orientador

Prof. Dr. Edenilson José da Silva
Membro titular

Prof. M.Sc. Omero Francisco Bertol
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

Dedico este trabalho a todos que de alguma forma colaboraram para esta escrita. Em especial a minha esposa Maria Eunice Guimarães, que nunca me censurou pela busca do conhecimento.

AGRADECIMENTOS

A caminhada para chegar até este momento não foi fácil, muitas barreiras foram importas ao longo deste trajeto, sejam estas pessoais e profissionais. Por quantas vezes me peguei a pensar se conseguiria, e consegui. O esforço foi compensatório, pois um objetivo foi concluído.

Agradeço a Deus por ter me guiado, esmoreci mas fui reanimado.

A minha esposa e meus filhos, por reconhecerem ao meu esforço.

Aos docentes que compartilharam seus conhecimentos ao longo do curso.

Ao meu orientar Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

SILVA, Marco Aurélio da. **Redes ópticas passivas e as redes LAN**. 2018. 48 f. Monografia de Especialização em Redes de Computadores e Teleinformática, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

Atualmente grande parte do cabeamento utilizado nas redes locais (*Local Area Network* – LAN) tradicionais é o metálico. Porém, devido ao imenso potencial da fibra óptica, sua significativa redução de custo e apresentarem diversas vantagens sobre as redes metálicas como: imunidade a interferência eletromagnética, consumo de energia elétrica, maiores taxas de transmissão e distância. E com a evolução da arquitetura de redes ponto multiponto e a já conhecida rede óptica passiva (*Passive Optical Network* - PON), tendo como principal característica o uso de componentes passivos. Este trabalho segue uma metodologia que tem por finalidade, apresentar e fazer um comparativo com entre as redes LAN e PON LAN (*Passive Optical Network for Local Area Network*).

Palavras-chave: Fibras Ópticas. Redes Locais. Rede Óptica Passiva. Sistema de Cabeamento Estruturado.

ABSTRACT

SILVA, Marco Aurélio da. **Passive optical networks and the networks LAN**. 2018. 48 f. Monografia de Especialização em Redes de Computadores e Teleinformática, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

Currently much of the cabling used in traditional LocalLANs is metallic. However, due to the immense potential of the optical fiber, its significant reduction of cost and present several advantages over metallic networks such as immunity to electromagnetic interference, electric energy consumption, higher transmission rates and distance. And with the evolution of the architecture of multipoint point network and the already known Passive Optical Network (PON), having as main characteristic the use of passive components. This work follows a methodology that aims to present and compare the LAN and PON LAN (Passive Optical Network for Local Area Network) networks.

Keywords: Optical Fiber. Local Area Network. Passive Optical Network. Structure Cabling System.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Subsistemas do cabeamento estruturado	20
Figura 2. Representação de uma rede local (LAN)	21
Figura 3. Representação da arquitetura de uma rede metropolitana (MAN)	21
Figura 4. Representação da arquitetura de uma rede com grande extensão (WAN)	22
Figura 5. Modos de propagação do sinal	24
Figura 6. Arquitetura típica de uma rede PON	26
Figura 7. Componentes redes PON	27
Figura 8. Topologia em barramento	28
Figura 9. Topologia em anel.....	28
Figura 10. Topologia em árvore ou estrela.....	29
Figura 11. Arquitetura LAN tradicional	32
Figura 12. Representação de uma rede óptica passiva LAN	33
Figura 13. Comparativo entre cabeamento estruturado tradicional <i>versus</i> redes PON	35
Figura 14. CAPEX e OPEX	40
Figura 15. Simplificação na configuração e gerenciamento	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Apresenta uma comparação entre as tecnologias EPON e G-EPON padronizadas pelo IEEE	31
Tabela 2. Comparativo dos custos entre LAN tradicional e LAN óptica passiva	39
Tabela 3. Porcentagem de redução de custos em função da quantidade de pontos	40
Tabela 4. Representação dos custos com CAPEX	41
Tabela 5. Representação dos custos com OPEX	42

LISTA DE SIGLAS

AES	<i>Advanced Encryption Standard</i> (ou padrão de criptografia avançada)
ANSI	<i>American National Standards Organization</i>
ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i> (ou modo de transferência assíncrono)
AWG	<i>American Wire Gauge</i> (ou escala americana de bitolas de fios)
BT	<i>British Telecom</i>
CAPEX	<i>Capital Expenditure</i> (ou despesas de capital)
CPE	<i>Customer Premises Equipment</i> (equipamento dentro das instalações do cliente)
EFM	<i>Ethernet in the First Mile</i> (ou <i>Ethernet</i> na primeira, ou última, milha)
EIA	<i>Electronic Industries Association</i>
EIA/TIA	<i>Electronic Industries Association/Telecommunications Industry Association</i>
EPON	<i>Ethernet Passive Optical Network</i>
FSAN	<i>Full Services Access Network</i>
FTP	<i>Foiled Twisted Pair</i> (cabo de par trançado)
GFP	<i>Generic Framing Protocol</i>
GPON	<i>Giga-bit Passive Optical Network</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (ou organização internacional para padronização)
ITU	<i>International Telecommunication Union</i> (ou União Internacional de Telecomunicações)
ITU-T	<i>Telecommunication Standardization Sector</i> (ou setor de normatização das telecomunicações)
LAN	<i>Local Area Network</i> (rede local)
MAC	<i>Media Access Control</i> (controle de acesso ao meio)
OLT	<i>Optical Line Terminal</i> (terminal de linha óptica)
ONT	<i>Optical Network Terminal</i> (terminal de rede óptica)
ONU	<i>Optical Network Units</i> (unidade de rede óptica)
OPEX	<i>Operational Expenditure</i> (despesas operacionais)
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>
PON	<i>Passive Optical Network</i> (rede óptica passiva)

PON LAN	<i>Passive Optical Network for Local Area Network</i> (rede óptica passiva para rede local)
QoS	<i>Quality of Service</i> (ou qualidade de serviço)
ScTP	<i>Screened Twisted Pair</i>
STP	<i>Shielded Twisted Pair</i> (cabo de par trançado blindado)
TCO	<i>Total Cost Ownership</i>
TDM	<i>Time Division Multiplexing</i> (multiplexação por divisão de tempo)
TIA	<i>Telecommunications Industry Association</i>
UTP	<i>Unshielded Twisted Pair</i> (cabo de par trançado sem blindagem)
VLAN	<i>Virtual LAN</i>
WAN	<i>Wide Area Network</i> (rede de longa distância)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 PROBLEMA.....	12
1.2 OBJETIVOS	13
1.2.1 Objetivo Geral	13
1.2.2 Objetivos Específicos	13
1.3 JUSTIFICATIVA	13
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2 CONCEITO DE CABEAMENTO ESTRUTURADO	15
2.1 ORGÃOS DE PADRONIZAÇÃO.....	15
2.2 NORMATIZAÇÃO.....	16
2.2.1 Norma de Cabeamento Brasileira NBR 14565:2013	18
2.3 SISTEMA DE CABEAMENTO ESTRUTURADO	18
2.4 CLASSIFICAÇÃO DAS REDES.....	20
2.4.1 Redes Locais.....	20
2.4.2 Metropolitan Area Network (MAN).....	21
2.4.3 Wide Area Network (WAN).....	21
2.5 MEIO FÍSICO EM CABEAMENTO ESTRUTURADO.....	22
2.5.1 Cabos Par Trançado	22
2.6 FIBRAS ÓPTICAS	23
2.6.1 Tipos de Fibras Ópticas.....	23
3 PASSIVE OPTICAL NETWORK (PON).....	25
3.1 CARACTERÍSTICAS DAS REDES PON	25
3.2 COMPONENTES DAS REDES PON.....	26
3.3 TOPOLOGIAS DE REDES PON	27
3.3.1 Topologia em Barramento	27
3.3.2 Topologia em Anel	28
3.3.3 Topologia Árvore ou Estrela.....	29
3.4 TECNOLOGIAS EPON E GPON	29
3.4.1 Epon.....	30
3.4.2 Gpon.....	30
4 REDES LAN E PON LAN	32
4.1 COMPARATIVO ENTRE LAN E PON LAN	33
4.1.1 Arquitetura da LAN Baseada em Switch Ativo	33
4.1.2 Arquitetura PON LAN	35
5 ANÁLISE DO CAPEX E OPEX.....	38
6 CONCLUSÃO	44

1 INTRODUÇÃO

Em redes locais de médio e grande porte a quantidade de cabos, ativos de rede e número de conexões, além da maneira como estes elementos estarão dispostos, são fatores cruciais em um projeto de infraestrutura de redes e estes passam a ter um importante papel no custo de instalação, manutenção e gerenciamento da rede.

As empresas que precisam atualizar ou substituir sua infraestrutura de redes existente, estão buscando maneiras de melhorar a eficiência energética e reduzir as despesas de capital e de operação (APOLAN, 2015).

Atualmente, em projetos de infraestrutura desenvolvidos para redes locais (*Local Area Network* - LAN), o uso do cabeamento metálico foi e ainda é significativamente predominante neste tipo de aplicação. Porém, recentemente devido ao imenso potencial da fibra óptica, sua significativa redução de custo e o sucesso da tecnologia de redes ópticas passivas nas redes de acesso que entregam serviços *tripleplay* (dados, voz e vídeo), foi desenvolvido e proposto uma nova solução para redes locais LAN baseada na tecnologia de redes ópticas passivas (*Passive Optical Network* - PON) (DIAS et al., 2017).

As arquiteturas de redes ópticas passivas estão sendo implantadas como o projeto de alternativa ou até sendo visto, como a próxima geração para as redes LAN. Utilizando os cabos de fibra óptica do tipo monomodo, uma LAN óptica passiva (*Passive Optical Network for Local Area Network* - PON LAN) é capaz de alcançar distâncias de 20 km ou mais, mais do que o suficiente para ser a solução perfeita para redes de grande, médio porte ou em um edifícios de vários andares. Além de que, as PON oferecem vantagens claras em relação às redes de cobre/metálicas em termos de largura de banda, distância de acesso, consumo de energia, confiabilidade e vida útil.

1.1 PROBLEMA

A utilização de elementos passivos é a característica mais importante das redes PON. Os elementos passivos utilizados, tais como emendas ópticas e *splitters*, não necessitam de energia elétrica para desempenharem seus papéis, portanto não

há elementos ativos. Pretende-se demonstrar as possíveis vantagens sobre uma rede local de computadores, através deste trabalho.

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho busca mostrar o funcionamento da tecnologia de redes ópticas passivas (*Passive Optical Network* - PON), sua aplicação em redes locais LAN e demonstrar sua eficiência em projetos de infraestrutura de redes locais de médio ou grande porte. Essa aplicação é conhecida na literatura como sistemas *Passive Optical Network for Local Area Network* (POLAN ou PON LAN), podendo também ser conhecida comercialmente por outras nomenclaturas geradas por fabricantes e fornecedores de materiais ópticos (DIAS et al., 2017).

1.2.1 Objetivo Geral

Apresentar o uso da tecnologia LAN passiva óptica e suas implicações em um projeto de infraestrutura de rede, frente a arquitetura tradicional LAN.

Essa solução utiliza em toda sua estrutura cabeamento óptico e equipamentos intermediários passivos, prometendo assim uma alta eficiência energética, melhor gerência da rede, alto nível de segurança, investimento duradouro e principalmente custo competitivo de implantação, operação e manutenção.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para atender ao objetivo geral neste trabalho de conclusão de curso os seguintes objetivos específicos serão abordados:

- Descrever as tecnologias LAN e PON LAN;
- Analisar as vantagens e desvantagens de cada tecnologia;
- Avaliar os custos de cada tecnologia;
- Elaborar um comparativo entre as tecnologias.

1.3 JUSTIFICATIVA

O objetivo deste trabalho é demonstrar a aplicação da tecnologia PON LAN, que utiliza fibra óptica, traçando um comparativo entre a arquitetura LAN tradicional, cabo metálico. Apresentar o CAPEX, que é a sigla da expressão inglesa *Capital*

Expenditure (em português, despesas de capital ou investimento em bens de capital) e que designa o montante de dinheiro despendido na aquisição (ou introdução de melhorias) de bens de capital de uma determinada empresa, o montante de investimentos realizados em equipamentos e instalações de forma a manter a produção de um produto ou serviço ou manter em funcionamento um negócio ou um determinado sistema (FEY; GAUER, 2016) e OPEX que é uma sigla derivada da expressão *Operational Expenditure*, que significa o capital utilizado para manter ou melhorar os bens físicos de uma empresa, tais como equipamentos, propriedades e imóveis. As despesas operacionais (muitas vezes abreviado a OPEX) são os preços contínuos para dirigir um produto, o negócio, ou o sistema (FEY; GAUER, 2016).

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta monografia de trabalho de conclusão de curso de especialização está dividida em outras 5 (cinco) seções ou capítulos:

- Capítulo 2 – Conceito de cabeamento estruturado: serão abordados de maneira conceitual um sistema de cabeamento estruturado, boas práticas e normativas, redes locais de computadores, a chamada LAN, meio físico em cabeamento estruturado.
- Capítulo 3 - *Passive Optical Network* (PON): neste capítulo, temos por objetivo explicar a tecnologia PON, bem como suas características.
- Capítulo 4 - Redes LAN e PON LAN: neste capítulo, o objetivo é apresentar uma tabela comparativa das tecnologias, destacando as vantagens e desvantagens entre elas.
- Capítulo 5 - Análise do CAPEX e OPEX: o intuito neste capítulo é apresentar custos aproximados em aquisição de infraestrutura de rede e os custos para manter esta infraestrutura funcionando.
- Capítulo 6 - Conclusão: finalizar este trabalho, com o objetivo de ter apresentado e esclarecido a tecnologia PON LAN.

2 CONCEITO DE CABEAMENTO ESTRUTURADO

O cabeamento estruturado é uma infraestrutura de telecomunicações de um prédio ou campus que consiste de um número de pequenos elementos padronizados chamados subsistemas (FEY; GAUER, 2016).

O conceito de Sistema de Cabeamento Estruturado se baseia na disposição de uma rede de cabos com integração de serviços de dados e voz que facilmente pode ser redirecionada por caminhos diferentes, no mesmo complexo de cabeamento, para prover um caminho de transmissão entre pontos da rede distintos. Um sistema de cabeamento estruturado EIA/TIA-568-B, norma ANSI/TIA/EIA-568-B e ver a norma brasileira equivalente: NBR 14.565, é formado por seis subsistemas (FEY; GAUER, 2016).

2.1 ORGÃOS DE PADRONIZAÇÃO

A padronização das redes de computadores foi essencial no início da década de 80, e foi um dos principais motivos do grande crescimento observado nas redes. Antes da oficialização do modelo de referências de protocolos de comunicação *Open Systems Interconnection* (OSI) ou Interconexão de Sistemas Abertos ou Modelo OSI ser oficializado em 1984 pela *International Organization for Standardization* (ISO) (FEY; GAUER, 2016), os sistemas eram todos baseados em soluções proprietárias e não permitiam a interoperabilidade dos fabricantes.

Este fato gerava um grande desconforto aos usuários da tecnologia, que ficavam atrelados a soluções de um único fabricante. Se eles decidissem comprar a solução de uma determinada marca, eram obrigados a expandir com a mesma marca, o que era ótimo para o dono da marca e péssimo para o cliente, principalmente na hora de negociar preço.

Os padrões foram criados para permitir que uma solução tecnológica única e padronizada pudesse ser implementada por diferentes fabricantes. Inicialmente os fabricantes acreditavam que a padronização limitava a expansão tecnológica, mas o que aconteceu ao longo dos anos foi que os fabricantes implementavam o padrão e ofereciam a seus clientes, como uma solução de valor agregado, as capacidades avançadas por eles, criadas como um valor agregado.

Padronização da indústria, é o tipo de padronização formal. Em geral esses padrões são desenvolvidos por entidades de padronização que funciona como um grande fórum, do qual fazem parte representante das indústrias, dos governos, dos laboratórios das universidades e dos usuários. Alguns exemplos são:

- a) *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE): Possui engenheiros elétricos e eletrônicos de praticamente todos os países do mundo e a contribuição do IEEE é muito grande na definição de padrões de redes.
- b) *American National Standards Organization* (ANSI): É um órgão de padronização criado nos Estados Unidos, em 1918. Possuem aproximadamente 1000 associados entre empresas, organizações, agências de governo e instituições internacionais. A ANSI trabalha em parceria com a *International Electrotechnical Commission* (IEC), responsável pela especificação de padrões eletrônicos.
- c) *Electronic Industries Association* (EIA): Associação das Indústrias de Eletrônica (dos Estados Unidos), o EIA é uma organização privada para as indústrias de produtos eletrônicos nos Estados Unidos. A EIA é credenciada pela ANSI para desenvolver padrões e especificações técnicas de componentes eletrônicos, telecomunicações, internet.
- d) *Telecommunications Industry Association* (TIA): Associação das indústrias das telecomunicações.
- e) *International Organization for Standardization* (ISO): É uma organização internacional de padronização que pode ser considerada a maior do mundo. A ISO desenvolve e estabelece padrões nem diversas áreas do desenvolvimento tecnológico e é formada por diversas organizações de diferentes países.

2.2 NORMATIZAÇÃO

A norma que deu início à padronização de fios e cabos para os sistemas de telecomunicações em edifícios comerciais surgiu em meados de 1991, por meio de um órgão responsável pela padronização dos sistemas, o *Electronic Industries Association/Telecommunications Industry Association* (EIA/TIA), que posteriormente, recebeu o nome de ANSI/EIA/TIA-568, tendo como meta principal desenvolver, planejar e fixar padrões para os sistemas de cabeamento, não importando o fabricante, e sim a forma como o produto será executado ou construído (SOUZA FILHO; MATIAS, 2012).

Para dar continuidade ao trabalho da norma americana ANSI/EIA/TIA-568, foram produzidos diversos outros documentos e atualizações, conforme pode-se verificar a seguir:

- a) ANSI/TIA/EIA-568: norma que iniciou a padronização de cabeamento de telecomunicações em edifícios comerciais, 1991;
- b) ANSI/TIA/EIA-568^a: essa norma é uma revisão do padrão de cabeamento de telecomunicações em edifícios comerciais, 1995;
- c) TIA/EIA TSB67: norma responsável por especificar o desempenho de transmissão para teste em sistemas de cabeamento par trançado;
- d) TIA/EIA TSB72: norma responsável pela padronização do cabeamento centralizado de fibra óptica;
- e) TIA/EIA TSB75: essa norma é responsável pelas práticas em cabeamento horizontal, em escritórios abertos;
- f) TIA/EIA TSB95: essa norma tem como papel fundamental, a orientação de desempenho em transmissões de cabo Cat5 quatro pares 100ohms;
- g) ANSI/TIA/EIA-568-A-1: norma que especifica o atraso de propagação para os cabos de quatro pares, 100Ohms;
- h) ANSI/TIA/EIA-568-A-2: revisão da norma ANSI/TIA/EIA-568-A-1;
- i) ANSI/TIA/EIA-568-A-3: revisão da norma ANSI/TIA/EIA-568-A-1, com acréscimos;
- j) ANSI/TIA/EIA-568-A-4: essa norma possui requisitos e métodos para teste de perda de Paradiafonia, ou seja, interferência provocada em um par adjacente nos cabos de manobra (patch Cord) par trançado não blindados;
- k) ANSI/TIA/EIA-568-A-5: essa norma tem como papel fundamental, a orientação de desempenho em transmissões de cabo Cat5e quatro pares 100 ohms.

A mais recente norma publicada pela TIA é a ANSI/TIA/EIA 568-B padrão. É uma revisão do ANSI/TIA/EIA 568-A, que foi publicada em 1995. Este padrão é publicado como um documento de três partes:

- a) ANSI/TIA/EIA 568-B.1: projeto discute requisitos gerais. Fornece informações no que diz respeito ao planejamento, instalação e verificação em sistemas de cabeamento estruturado de edifícios comerciais. Estabelece também o desempenho de parâmetros para sistemas de cabeamento, tais como, canais e

links permanentes. Uma das principais mudanças neste documento é que ele só reconhece os cabos de categoria 5e (ou superior categoria).

- b) ANSI/TIA/EIA 568-B.2: especifica cabeamentos, componentes e requisitos de transmissão de um sistema de cabeamento.
- c) ANSI/TIA/EIA 568-B.3: discute componentes de fibra óptica. Esta norma especifica os componentes e transmissão de requisitos para sistemas de cabeamento de fibra óptica.

2.2.1 Norma de Cabeamento Brasileira NBR 14565:2013

Publicada em agosto/2000, a NBR 14565, apresentava um procedimento básico para a elaboração de projetos de cabeamento para telecomunicações para rede interna estruturada, em 2007 passou pela 1ª revisão, em 2012 entra em vigor a nova versão, em 2013 passa pela 3ª revisão (FEY; GAUER, 2016).

2.3 SISTEMA DE CABEAMENTO ESTRUTURADO

Um sistema de cabeamento estruturado é um tipo de sistema cuja infraestrutura se apresenta de forma flexível e suporta a utilização de diversos tipos de aplicações, tais como: dados, voz, imagem e controles prediais. Atualmente, as empresas estão levando em conta a utilização desse tipo de sistema pelas vantagens que apresenta em relação aos cabeamentos tradicionais (SOUZA FILHO; MATIAS, 2012).

Cabeamento estruturado não é um conceito exatamente novo, por outro lado não tem a história das instalações elétricas. Seu ciclo de modernização é rápido, pois está atrelado ao desenvolvimento das redes de dados, principal serviço utilizado nesse sistema, e conseqüentemente ao crescimento das redes de comunicação, internet, etc. Os cabos de pares trançados de cobre usados nos sistemas de cabeamento estruturado saltaram de 16 MHz de largura de banda (Categoria 3 ~1990) para 500 MHz (Categoria 6A ~2010) ou mais para suportarem redes de dados que cresceram de 10 Mbps (Megabits por segundo) para impressionantes 10 Gbps (Gigabits por segundo) (SOUZA FILHO; MATIAS, 2012).

O padrão TIA/EIA 568 define um sistema de cabeamento genérico para edifícios comerciais e apresenta um modelo que inclui os elementos funcionais que compõem um sistema de cabeamento estruturado. Dentro deste padrão se definem

sete subsistemas básicos (Figura 1), cada um responsável por uma área específica do cabeamento estruturado.

1. Entrada do Edifício (*Entrance Facilities*);
2. Sala de Equipamentos (*Equipment Room*);
3. Rede Primária ou Cabeamento Vertical (*Backbone Cabling*);
4. Sala de Telecomunicações (*Telecommunications Room*);
5. Rede Secundária ou Cabeamento Horizontal (*Horizontal Cabling*);
6. Área de Trabalho (*Work Area*).

A Figura 1, representa esses subsistemas que definem a forma de construção de um sistema de cabeamento estruturado, os quais são apresentados a seguir:

- 1ª subsistema, acesso ao prédio ou Entrada do Edifício (*Entrance Facilities*): interface entre o cabeamento externo e interno, o cabeamento externo comumente é fornecido por um provedor de acesso a internet, podendo ser este cabeamento fibra óptica, cabo coaxial, ou não cabeado, uma rede sem fio.
- 2ª subsistema, Sala de Equipamentos (*Equipment Room*): sala onde se encontrarão os principais equipamentos de distribuição de serviços de rede. Sendo um ambiente controlado para abrigar equipamentos de telecomunicações, *hardware* de conexão, gabinetes de emenda de fibras ópticas, aterramento e elementos de proteção, podendo também ser conhecida como sala de serviços.
- 3ª subsistema, Cabeamento Vertical (*Backbone Cabling*): também conhecido como *backbone*, que é a estrutura de ligação entre as salas de equipamentos, salas de telecomunicações e instalações de entradas. Essencialmente, é um conjunto de cabos que interligam os vários andares de um prédio.
- 4ª subsistema, Sala de Telecomunicações (*Telecommunications Room*): serve como ponto de conexão entre o cabeamento vertical e o cabeamento horizontal independente do tipo de cabo.
- 5ª subsistema, Cabeamento Horizontal (*Horizontal Cabling*): é a parte do cabeamento que se estende da saída dos equipamentos de comunicações até as Áreas de Trabalho, onde encontram-se os equipamentos finais. É neste momento que são definidos os 90 metros para o cabeamento horizontal, sendo reservado 10 metros para a Área de Trabalho e a Sala de Telecomunicações, com isso totalizando 100 metros de limite para o cabeamento horizontal.

- 6ª subsistema, Área de Trabalho (*Work Area*): conecta os equipamentos utilizados na área de trabalho até as tomadas do cabeamento horizontal.
- 7ª subsistema, Administração: este subsistema é definido pela norma ANSI/EIA/TIA 606, trata especificamente de toda a parte de administração dos sistemas de cabeamento de telecomunicações.

Figura 1. Subsistemas do cabeamento estruturado



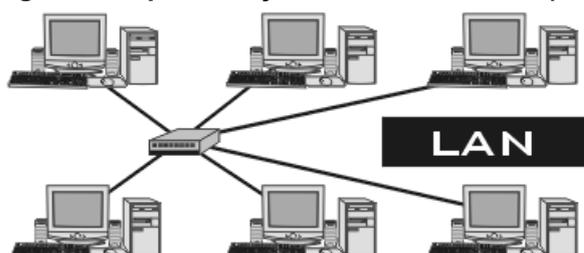
Fonte: Adaptado Furukuwa (2016).

2.4 CLASSIFICAÇÃO DAS REDES

2.4.1 Redes Locais

As redes locais (Figura 2), muitas vezes chamadas *Local Area Network* (LAN), são redes privadas contidas em um único edifício ou campus universitário com até alguns quilômetros de extensão (TANENBAUM; WETHERALL, 2011). Uma rede privada pode ser definida como um conjunto de computadores que pertence a uma mesma organização, como um prédio com escritórios, universidade, ou mesmo uma casa residencial.

Figura 2. Representação de uma rede local (LAN)

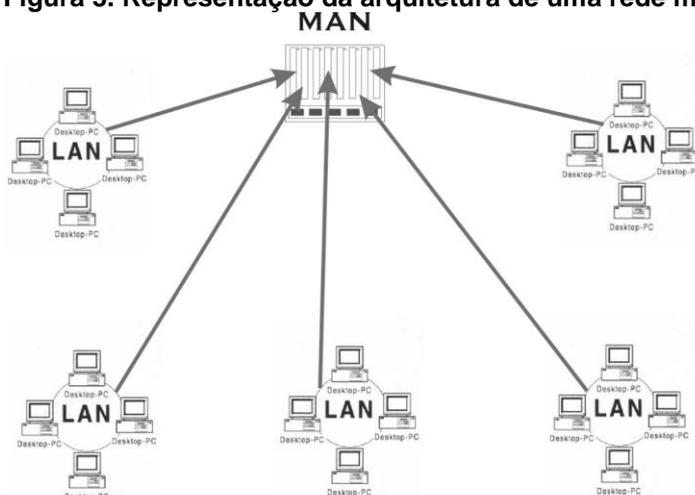


Fonte: Tanenbaum; Wetherall (2011).

2.4.2 Metropolitan Area Network (MAN)

Computadores interligados em uma região de uma cidade, às vezes, interligam computadores de cidades vizinhas próximas (Figura 3). São usadas para interligação de computadores dispersos numa área geográfica mais ampla, onde é possível ser interligada usando tecnologia para redes locais (TANENBAUM; WETHERALL, 2011).

Figura 3. Representação da arquitetura de uma rede metropolitana (MAN)

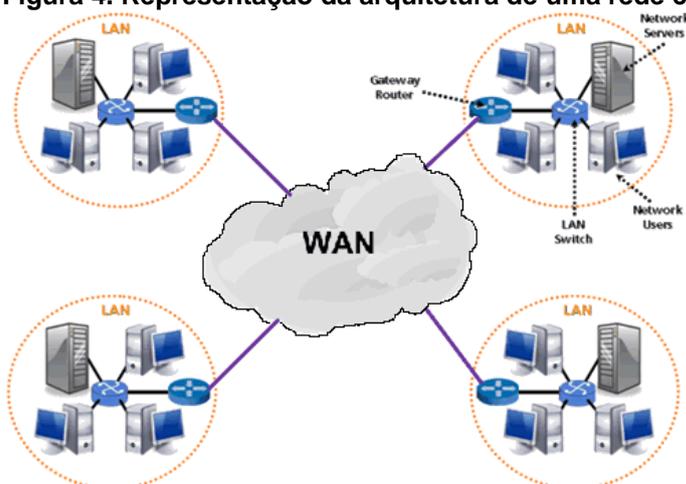


Fonte: Tanenbaum; Wetherall (2011).

2.4.3 Wide Area Network (WAN)

Redes que usam linhas de comunicação das operadoras de telecomunicações (Figura 4). É usada para interligação de computadores localizados em diferentes cidades, estados ou países. São redes onde os equipamentos estão dispersos em duas ou mais regiões geográficas e estão conectados através de fios telefônicos ou ondas de rádio (TANENBAUM; WETHERALL, 2011).

Figura 4. Representação da arquitetura de uma rede com grande extensão (WAN)



Fonte: Tanenbaum; Wetherall (2011).

2.5 MEIO FÍSICO EM CABEAMENTO ESTRUTURADO

Meio físico ou meio de transmissão é todo o tipo de interligação física (meio guiado-condutor físico ou meio não guiado-usa onde de rádio em diferentes frequências) entre dois equipamentos de comunicação (FEY; GAUER, 2016).

Dois meios de transmissão são mais comuns no Cabeamento Estruturado: os cabos de pares trançados de cobre e os cabos de fibras ópticas.

2.5.1 Cabos Par Trançado

Cabo de par trançado (*Twisted Pair*), é um tipo de fiação na qual dois condutores são torcidos juntos, para efeitos de cancelamento de correntes, protegendo o par de interferências eletromagnéticas (EMI), de fontes externas (como por exemplo: descargas elétricas), de motores, etc. Esses condutores são agrupados e revestidos com camadas isolantes ou metálicas, em número de pares que venham a atender a aplicação a qual se destina.

São três os tipos de cabos de par trançado:

1. *Unshielded Twisted Pair* (UTP): Possuem impedância de 100Ω . Normalmente possuem 4 ou 25 pares, não utilizam blindagem, e possuem bitola² de 24AWG.
2. *Foiled Twisted Pair* (FTP) e *Screened Twisted Pair* (ScTP): Possuem impedância de 100Ω em 4 pares com blindagem metálica que pode ser uma folha (*foiled*) cobrindo o conjunto dos pares ou uma malha (*screened*), e bitola de 24AWG¹.

¹ *American Wire Gauge* (AWG): É a unidade de medida usada para padronização de fios e cabos elétricos.

3. *Shielded Twisted Pair* (STP): São constituídos por dois pares trançados, que são cobertos por uma camada de blindagem e por uma nova blindagem, após a camada isolante. Possuem impedância de 150Ω e sua bitola é de 22AWG.

2.6 FIBRAS ÓPTICAS

Com a evolução da tecnologia, os tradicionais cabos metálicos estão sendo substituídos por cabos de fibra óptica. A fibra óptica é um filamento de vidro, que também pode ser de material produzido com polímero, que tem alta capacidade de transmitir os raios de luz.

As fibras ópticas se sobressaem aos cabos metálicos, por não sofrerem interferência eletromagnética devido ao caráter dielétrico (isolante) do material. Em outras palavras, não há distorção do sinal por causa dos ruídos elétricos do ambiente externo ou das fibras ópticas também agrupadas no cabo. Assim, a perda de informações durante o trajeto não é relevante.

O funcionamento desses cabos ocorre de forma bem simples. Cada filamento que constitui o cabo de fibra óptica é basicamente formado por um núcleo central de vidro, por onde ocorre a transmissão da luz, que possui alto índice de refração e de uma casca envolvente, também feita de vidro, porém com índice de refração menor em relação ao núcleo. A transmissão da luz pela fibra óptica segue o princípio da reflexão total da luz. Em uma das extremidades do cabo óptico é lançado um feixe de luz que, pelas características ópticas da fibra, percorre todo o cabo por meio de sucessivas reflexões até chegar ao seu destino final.

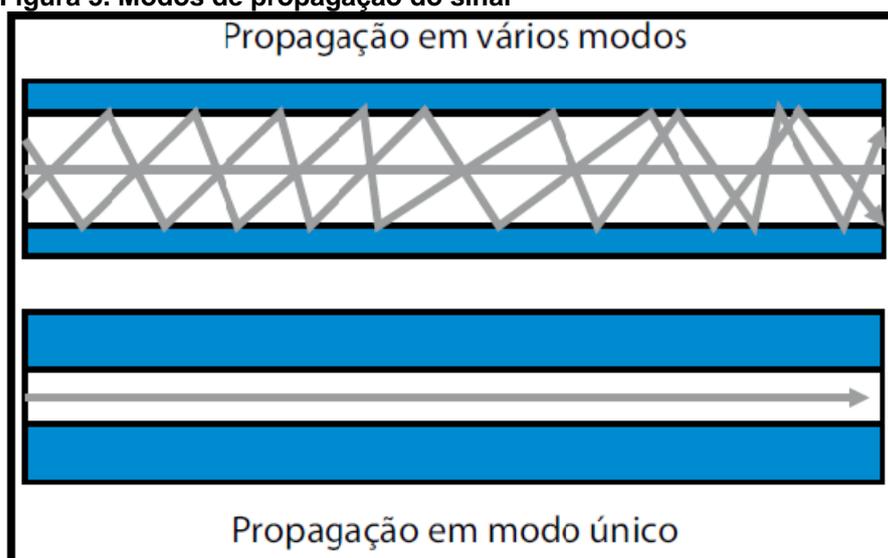
2.6.1 Tipos de Fibras Ópticas

As fibras podem ser de dois tipos: “monomodo” ou “multimodo”. O termo modo é apenas uma indicação do sentido que o sinal se propagara no núcleo da fibra. Nas monomodos, o sinal de luz se propaga em sentido único, ou seja, único modo (*mono*). Já nas multimodos o sinal se propaga de vários modos (*multi*), como indicado abaixo (MARIN, 2013).

Modo de propagação é a forma como o sinal viaja dentro do cabo. Nas fibras, eles viajam de duas formas: em forma de ângulo reto ou ângulo variado (SOUZA FILHO; MATIAS, 2012).

A Figura 5, apresenta os dois modos de propagação do sinal: a) Fibras Monomodo (modo único): possui o núcleo com dimensões pequenas que variam entre 7 a 10 μm de núcleo e 125 μm de casca. O modo de propagação da luz é em um único modo e, devido à sua baixa atenuação, alcança grandes distâncias e uma grande banda passante (SOUZA FILHO; MATIAS, 2012); b) Fibras Multimodo (vários modo): possuem dimensões que variam entre 50 a 62,5 μm de núcleo e casca de 125 μm . São fibras empregadas em aplicações de distâncias limitadas a 550m. Embora a distância de 550m seja comumente encontrada nos livros técnicos, vale a ressalva de que é possível encontrar lançamento de fibras multimodo de até 2.000m. Na realidade, a possibilidade de se estender a distância está diretamente relacionada a um fator conhecido como “dispersão modal, atraso na propagação do sinal” (SOUZA FILHO; MATIAS, 2012).

Figura 5. Modos de propagação do sinal



Fonte: Souza Filho; Matias (2012).

3 PASSIVE OPTICAL NETWORK (PON)

O aprimoramento da fibra ao longo dos anos levou ao aumento considerado da banda de transmissão, assim em 1986, no laboratório da *British Telecom* (BT) na Inglaterra, com o trabalho pioneiro de Keith Oakley e Chris Todd iniciou-se o desenvolvimento do conceito *Passive Optical Network* (PON) (OLIVEIRA, 2014).

O desenvolvimento das redes PON iniciou-se na Inglaterra através de estudos realizados nos laboratórios da BT e as primeiras patentes foram divulgadas no início dos anos 90. Porém, foi no ano de 1995 que as grandes operadoras do mundo e seus fornecedores desenvolveram a primeira especificação e definiram um sistema de comunicação capaz de suportar uma vasta gama de serviços. Essa iniciativa, conhecida como *Full Services Access Network* (FSAN), especificou o sistema APON (ATM PON) utilizando *Asynchronous Transfer Mode* (ATM) como protocolo da camada *Media Access Control* (MAC) (DIAS et al., 2017).

3.1 CARACTERÍSTICAS DAS REDES PON

Dois principais tipos de arquitetura que utilizam fibras ópticas são: configuração ponto-a-ponto (*point-to-point*) e configuração ponto-multiponto (*point-to-multipoint*) (PICIN; GIMENEZ, 2015).

Redes *Passive Optical Network* (PON) são redes com topologias ponto-multiponto, empregadas em arquitetura de redes, consideradas última milha (last mile) (PEREIRA, 2013).

Uma rede PON é uma rede óptica ponto-multiponto que viabiliza o compartilhamento de uma única fibra óptica entre diversos pontos finais (usuários). Não existem elementos ativos entre o equipamento do provedor de acesso (OLT) e o *Customer Premises Equipment* (CPE) instalado junto ao equipamento de aplicação do usuário. Desta forma, esta solução provê uma clara economia nos custos de operação, manutenção e implementação. Também a solução PON pode ser implementada por uma fração dos custos das redes ópticas ponto-a-ponto tradicionais (SANCHEZ, 2004).

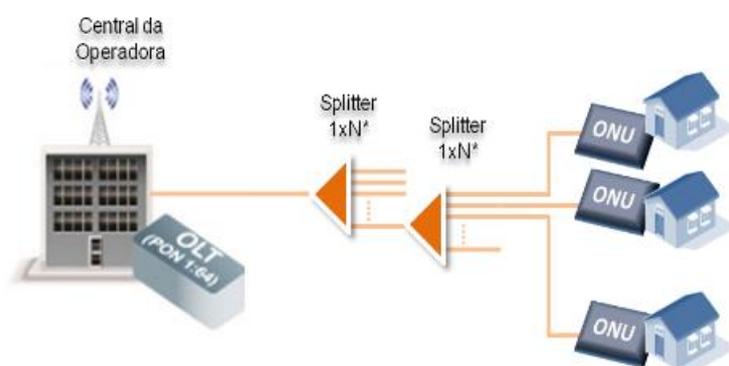
A utilização de elementos passivos é a característica mais importante das redes PON. O termo passivo se origina da principal característica dessa rede, uma

vez que não existem elementos ativos, ou seja, elementos que necessitem de energia elétrica para seu funcionamento (PICIN; GIMENEZ, 2015).

Os elementos passivos utilizados, tais como emendas ópticas e *splitters*, não necessitam de energia elétrica para desempenharem seus papéis, portanto não há elementos ativos entre os clientes e a operadora.

Uma PON, apresentada na Figura 6, é uma rede de acesso em fibra óptica interligada, em topologia estrela e na configuração ponto-multiponto, que possui somente componentes ópticos passivos entre a *Optical Line Terminal* (OLT) e a *Optical Network Units* (ONU) ou *Optical Network Terminal* (ONT).

Figura 6. Arquitetura típica de uma rede PON



Fonte: Filgueiras; Pessoa (2015).

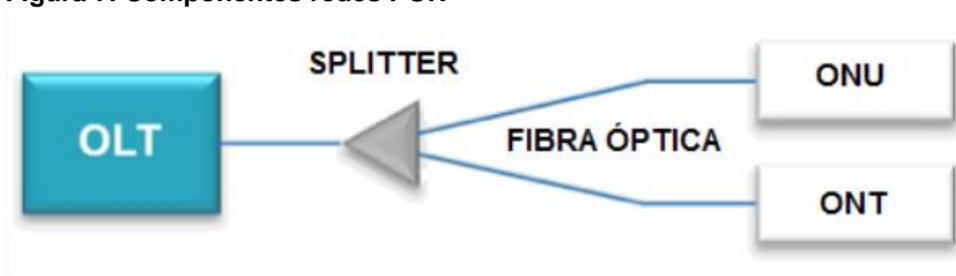
3.2 COMPONENTES DAS REDES PON

Os principais componentes que caracterizam as redes PON, apresentada na Figura 7, são apresentados a seguir:

- a) *Optical Line Terminal* (OLT): é o ponto de conexão entre a rede de acesso e o núcleo (core) da rede, faz a conversão do sinal elétrico-óptico e óptico-elétrico. A OLT controla e administra a transmissão das ONUs, tendo a função de concentrar e administrar todo o tráfego da rede, disponibilizar serviços para usuários finais, controlar a qualidade de serviço (em inglês, *Quality of Service* - QoS), entre outras tarefas;
- b) *Optical Network Unit* (ONU): este equipamento é simples e converte o sinal óptico das OLT em sinal elétrico para ser utilizado por dispositivos eletrônicos através de portas *Ethernet* convencionais, localizado na terminação da rede (cliente);

- c) Divisor Passivo (*Splitter*): são dispositivos passivos, não requerem alimentação elétrica. O sinal óptico é transmitido pelo OLT por uma única fibra, os divisores possuem múltiplas saídas e tem a função de dividir o sinal óptico, em múltiplas saídas para as fibras que serão conectadas a cada ONU (no sentido *downstream*). Também são capazes de recombinar o sinal no sentido *upstream*. Sua configuração de entrada/saída varia comumente entre 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64, possuem tamanho reduzido e baixo custo.

Figura 7. Componentes redes PON



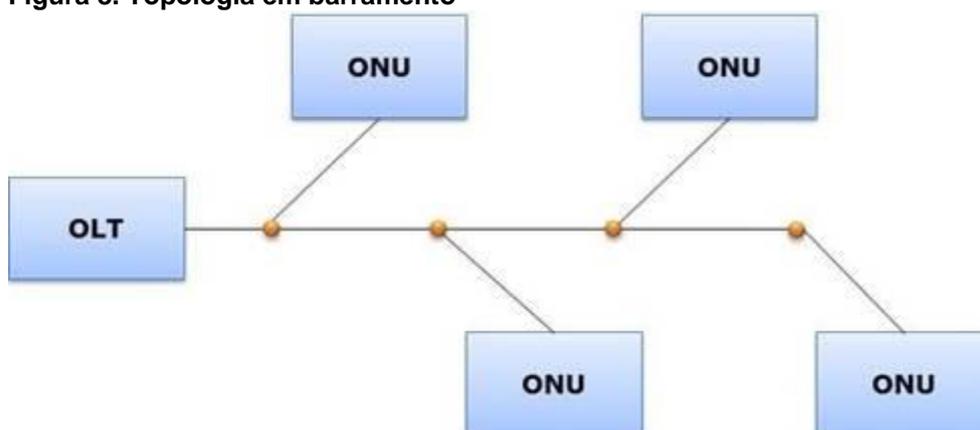
Fonte: Pinheiro (2016).

3.3 TOPOLOGIAS DE REDES PON

As redes ópticas passivas podem ser implementadas por três topologias físicas: em anel, barramento ou árvore.

3.3.1 Topologia em Barramento

Nesta topologia em barramento, apresentada na Figura 8, as interconexões em fibra óptica entre a OLT e as ONUs utilizam vários divisores ópticos de potência (*splitters*) com a razão de divisão de 1:2, sendo uma conexão com a ONU e a outra como canal até o próximo *splitter*, existindo várias outras ONUs entre a OLT e última ONU. Ao contrário da topologia em árvore é mais utilizada nas redes de acesso PON (PEREIRA, 2013).

Figura 8. Topologia em barramento

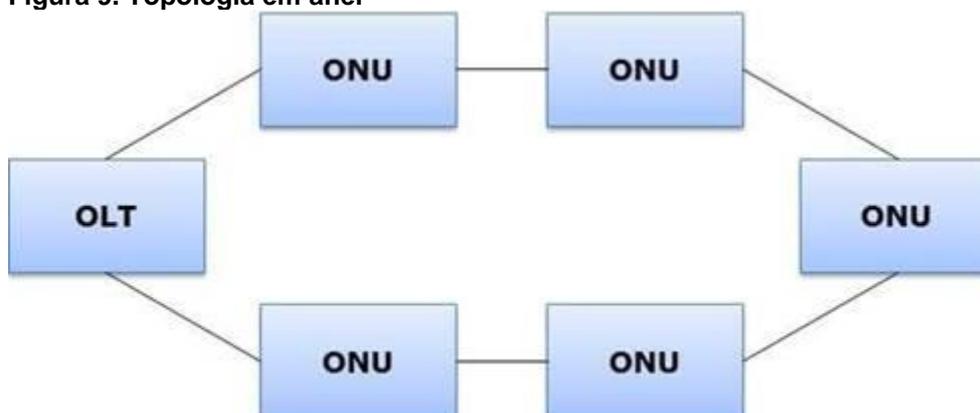
Fonte: Sanchez (2004).

3.3.2 Topologia em Anel

A topologia em Anel as ONUs se interligam de forma serial, formando um barramento óptico, as ONUs das extremidades são interligadas ao OLT. Onde cada ONU funciona como um derivador óptico ativo. A grande vantagem desta topologia é a questão da redundância (SILVA, 2009).

A OLT interconecta as ONUs, através de um link óptico, que cria uma segmentação de redes ONUs, na forma de barramento, até a OLT novamente, dando a ideia de um anel óptico, onde as ONUs funcionam como um divisor óptico ativo (PEREIRA, 2013).

As grandes vantagens desta topologia (Figura 9) são: a redundância da rede e a possibilidade de configuração do custo métrico de tráfego, onde é possível indicar a direção mais rápida para o tráfego, seja ela no sentido leste ou oeste (SANCHEZ, 2004).

Figura 9. Topologia em anel

Fonte: Sanchez (2004).

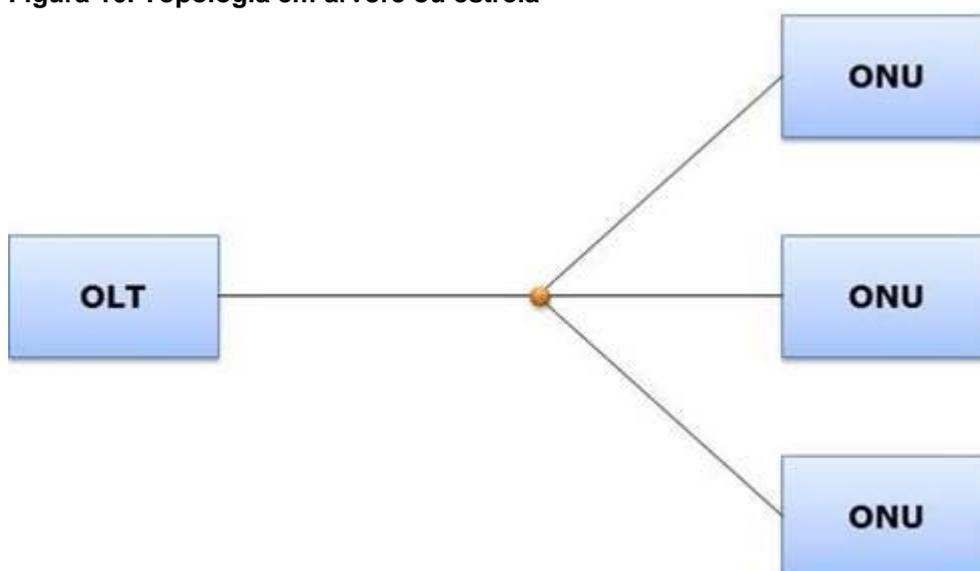
3.3.3 Topologia Árvore ou Estrela

Nesta topologia as ONUs são conectadas a uma OLT por um único derivador, e o fator de derivação do derivador cria o número de sub-segmentos na fibra. Esta topologia é empregada quando as ONUs estão distantes da OLT ou estão agrupadas em uma mesma região (SILVA, 2009).

Na topologia em árvore um único segmento com origem no OLT interconecta diversas ONUs, onde são utilizados divisores ópticos de potência passiva (splitters), para ligação com fibra desde a origem OLT até o usuário final na ONU (PEREIRA, 2013).

Na topologia árvore ou estrela, apresentada na Figura 10, as ONU's são conectadas por um único elemento PON, e através de um *splitter* o sinal é dividido para todas ONU's e deve possuir uma divisão de segmento superior a 1:2, esse tipo de topologia é mais utilizado para FTTCab (SILVA et al., 2013).

Figura 10. Topologia em árvore ou estrela



Fonte: Sanchez (2004).

3.4 TECNOLOGIAS EPON E GPON

Duas tecnologias de redes ópticas ponto-multiponto estão comercialmente disponíveis no mercado: a tecnologia *Ethernet Passive Optical Network* (EPON) definida pelo padrão IEEE 803.1ah e *Giga-bit Passive Optical Network* (GPON), definida pelas recomendações do Setor de Normatização das Telecomunicações (em inglês, *Telecommunication Standardization Sector - ITU-T*), que é uma área da

União Internacional de Telecomunicações (em inglês, *International Telecommunication Union* - ITU), série G.984.X. Destas tecnologias, o GPON tem sido a preferência dos operadores principalmente por prover uma banda maior de downstream, maior eficiência do protocolo em relação ao EPON e possibilitar o transporte de multiplexação por divisão de tempo (do inglês, *Time Division Multiplexing* - TDM) nativo.

3.4.1 Epon

O EPON é um padrão desenvolvido pelo *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), através de uma iniciativa do grupo “*Ethernet in the First Mile*” - EFM (*Ethernet* na primeira, ou última, milha). A organização responsável pelo EPON é o IEEE e suas especificações estão definidas no IEEE 802.3ah.

O EPON provê taxas de 1 Gbit/s tanto para *downstream* usando comprimento de onda de 1490 nm (voz e dados) e 1550 nm (vídeo), como para *Upstream* usando comprimento de onda de 1310 nm. As OLT's no EPON podem se conectar a 16 ou 32 ONU's. Foram definidas duas arquiteturas para esse padrão, sendo elas a 1000BASE-PX10 e a 1000BASE-PX20, tendo como diferença básica entre elas a distância máxima entre a OLT e as ONU, sendo elas 10 km e 20 km respectivamente. Para atingir essa capacidade de 1 Gbit/s, o EPON tem taxas de fracionamento de 1:16 e 1:32 e trabalha com largura de banda média por usuário de 60 e 30 Mbit/s respectivamente (SILVA et al., 2013).

No sentido de *downstream* no EPON, os pacotes da OLT são enviados via *broadcast* para todas ONTs/ONUs, como é padrão no *Ethernet*, a ONT/ONU seleciona qual pacote é seu e o resto descarta. No sentido de upstream o comportamento do EPON é similar a uma arquitetura ponto a ponto: o EPON adota o TDM, ou seja, cada ONT/ONU transmite os quadros *Ethernet* para a OLT com intervalos de tempo de transmissão diferentes, atribuídos pela OLT.

3.4.2 Gpon

O GPON é um padrão definido pelo 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).

Este padrão suporta até sete combinações diferentes de taxas de *Upstream* e *downstream*, sendo a combinação mais utilizada é de 1.244 Gbit/s para *Upstream* e

de 2.488 Gbit/s para *downstream*. De acordo com as especificações a GPON possui um alcance físico de 20 km e lógico de 60 km prevendo a utilização de sistemas de longo alcance, possui uma razão de divisão de 1:64 e uma previsão no avanço das tecnologias usadas para a utilização de uma razão de divisão de 1:128, podendo assim obter maior suporte de acordo com a evolução no número de ONT's e ONU's gerenciados por cada OLT e possui flexibilidade para tráfego em taxa de bit constante e em rajada, através da utilização do encapsulamento *Generic Framing Protocol* (GFP) (SILVA et al., 2013).

A Tabela 1, apresenta um comparativo entre as tecnologias EPON e G-EPON.

Tabela 1. Apresenta uma comparação entre as tecnologias EPON e G-EPON padronizadas pelo IEEE

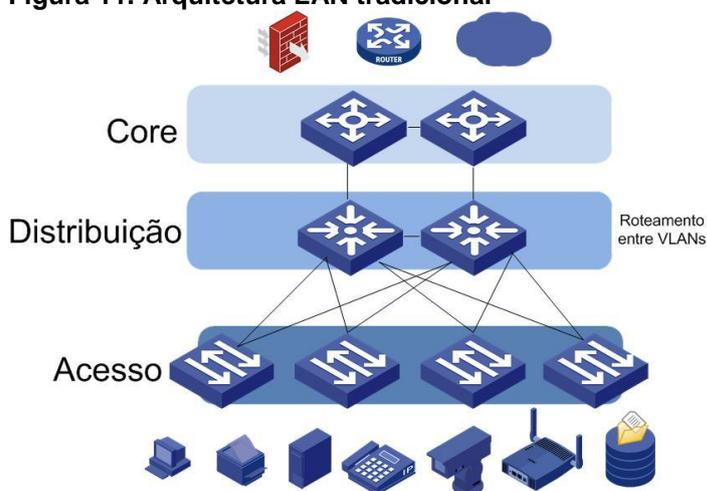
CARACTERÍSTICAS	EPON	G-EPON
Padrões	IEEE 802.3ah	IEEE 802.3ah
Capacidade de transmissão	1 Gbit/s	1 Gbit/s
Tamanho dos pacotes de dados	Variável de 64 bytes a 1518 bytes	Variável de 64 bytes a 1518 bytes
Protocolo	Ethernet	Ethernet
Comprimento de onda <i>downstream</i>	1490 a 1510 nm	1490 nm
Comprimento de onda <i>Upstream</i>	1310 nm	1310 nm
Alcance	20 km	20 km
Taxa de fracionamento	1:16 e 1:32	1:16
Largura de banda média por usuário	60 e 30 Mbit/s	80Mbit/s
Custos estimados	Mais baixo	Médio
QoS	Sim	Sim
OAM	Sim	Sim
Voz	Sim	Sim
Segurança	Sim	Sim

Fonte: Silva et al. (2013).

4 REDES LAN E PON LAN

Tradicionalmente a infraestrutura de redes locais (LAN) é baseada em *switches* ativos distribuídos em uma topologia física de 2 ou 3 níveis. Em uma rede LAN típica (Figura 11), os grupos de computadores se conectam, a hubs ou switches de nível de acesso. Estes, por sua vez, encaminham os pacotes pela rede até os switches de distribuição. Finalmente os pacotes são encaminhados ao core da rede e roteados até seu destino final (FURUKAWA, 2016).

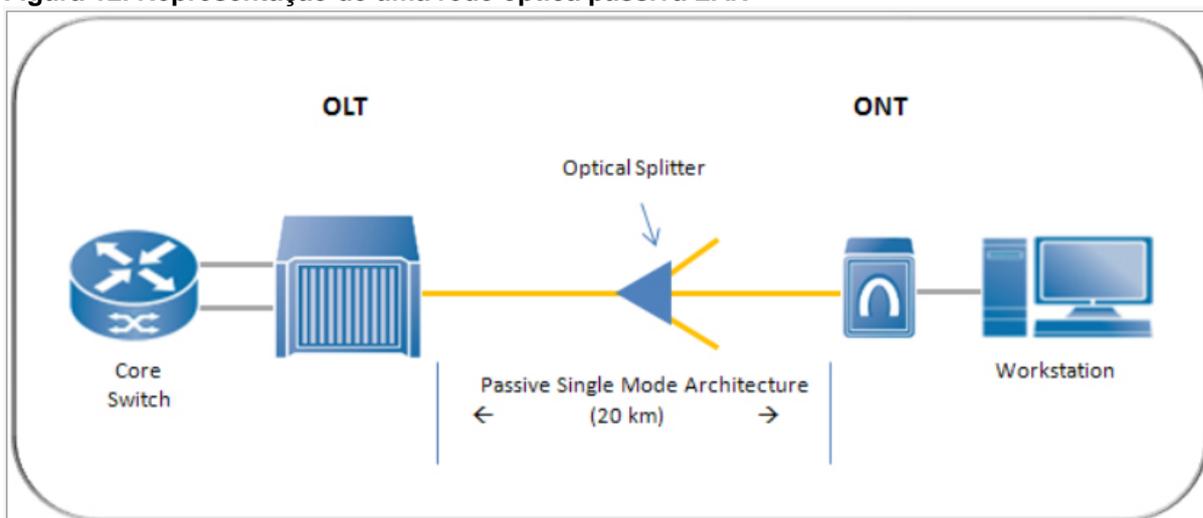
Figura 11. Arquitetura LAN tradicional



Fonte: Furukawa (2016).

Com as redes PON criou-se a oportunidade dessa mesma tecnologia ser aplicada nas redes locais (Figura 12). O objetivo, é entregar todos os serviços presentes em uma rede local (LAN), através do uso da rede óptica passiva, buscando suprir as principais deficiências encontradas nas soluções que utilizam o cabeamento metálico convencional (DIAS et al., 2017).

Figura 12. Representação de uma rede óptica passiva LAN



Fonte: Apolan (2015).

4.1 COMPARATIVO ENTRE LAN E PON LAN

4.1.1 Arquitetura da LAN Baseada em Switch Ativo

As infraestruturas de LAN tradicionais baseiam-se em switches ativos distribuídos em camadas comumente denominado como design de dois ou três níveis. Em uma configuração de LAN corporativa típica, um grupo de computadores são conectados a um *switch* da camada de acesso. O *switch* da camada de acesso encaminha os pacotes de rede iniciados de computadores individuais para o *switch* da camada de distribuição. Finalmente, o pacote é encaminhado para o *switch* principal e roteado para o destino. Se o destino estiver conectado ao mesmo *switch*, a rede o tráfego será roteado para o destino sem passar pelos *switches* da camada superior (ANEROUSIS et al., 2014).

A infraestrutura das redes LAN, são baseadas em *switches* distribuídos ao longo da rede para garantir o encaminhamento e o processamento dos pacotes, garantindo que toda a informação chegue até o destino final (PEREIRA; ABBADE, 2016).

Essa arquitetura em camadas é ainda mais complicada pela necessidade da construção de ambientes específicos para atender a necessidade da distribuição do cabeamento de rede ao longo da estrutura do edifício ou campus que são, à sala de equipamentos e sala de telecomunicações comumente usados (ANEROUSIS et al., 2014).

Estes espaços de telecomunicações em geral, demandam condições específicas para garantir um ambiente apropriado para os equipamentos que lá serão instalados. Estas condições vão desde a área mínima do local até o nível de iluminação do ambiente, passando por outras características também importantes, como: temperatura, umidade relativa, controle de poeira, estática, posicionamento dentro da edificação. Isto incorporado ao projeto de construção aumenta os custos com a infraestrutura a ser construída, e muitas vezes ocupando espaços que poderiam ser utilizados para uma melhor distribuição da densidade de pessoas no ambiente.

Outro aspecto nesta arquitetura em camadas é principalmente devido às características do cabo de cobre que é comumente usado para conectar a estação de trabalho e os *switches* da camada de acesso. O comprimento do cabo de cobre, uma vez que o sinal de alta frequência transmitido no fio de cobre se degrada com o comprimento e o comprimento máximo para uma ligação de cabo de cobre entre dois dispositivos ativos é de 100 metros, conforme a norma ANSI/TIA/EIA 568B e NBR 14565. Em uma instalação típica, isso se traduziria em 90 metros de cabeamento horizontal entre o sala de equipamentos e a tomada da parede, além de 5 metros de cabo flexível em cada extremidade entre cada conector e o conectado dispositivo. Exceder o comprimento do cabeamento de patch ou o comprimento máximo do cabo causará perda de sinal (ANEROUSIS et al., 2014).

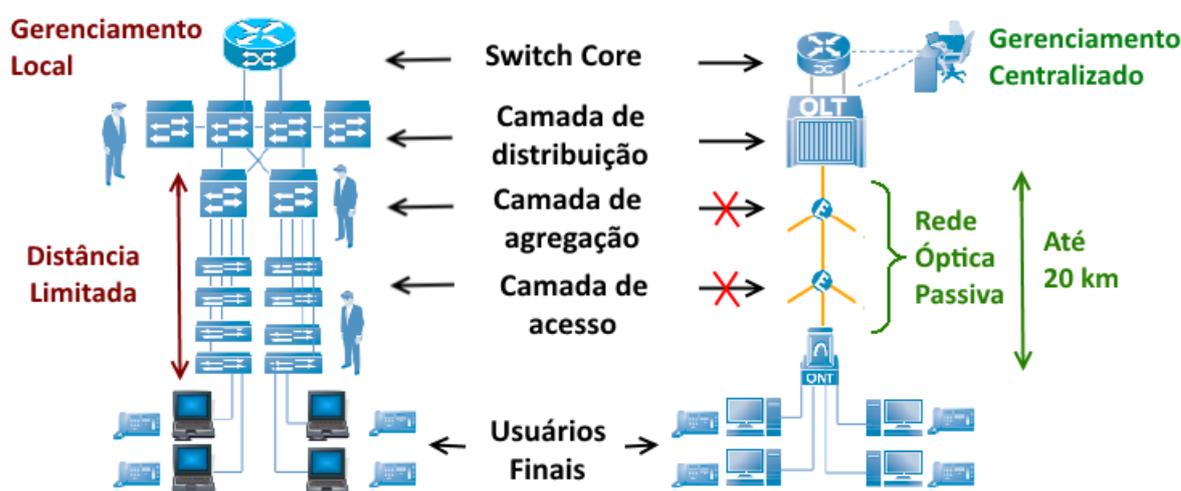
Historicamente, a velocidade de transmissão em cabos metálicos em redes LAN cresceu de 10 megabits por segundo (10 Mbps) para 100 Mbps, até os novos sistemas de 10000 Mbps (10 Gbps) ou acima. Para alcançar estas taxas, os sistemas foram desde bandas de 10 MHz aos atuais 500 MHz (FURUKAWA, 2016).

Como esta transmissão, é feita através de cabos metálicos, que precisam ser distribuídos ao longo de toda a estrutura, e para garantir a comunicação com altas taxas de transmissão, é necessário um de sinal de alta frequência, e isso demanda um consumo significativo de energia elétrica para garantir o funcionamento, além disso, não podem ultrapassar a distância de 100m, pois perdem eficiência e não conseguem garantir que toda a informação transmitida seja entregue (PEREIRA; ABBADE, 2016).

A soma de fatores como: consumo de energia; limitação de distância; espaço físico nas tubulações (Figura 13). Juntando com o baixo número de portas em *switches* convencionais, faz com que, em organizações de médio/grande, seja

necessário a utilização de um grande número de *switches* para atendimento da camada de acesso, aumentando assim o custo de instalação, gastos com energia/refrigeração e o espaço físico necessário para o armazenamento seguro dos ativos da rede. Outra limitação das arquiteturas tradicionais LAN é a complexidade de gerência da rede. Para configuração de algumas aplicações na rede, como por exemplo VLANs (*Virtual LANs*), é necessário a configuração individual de múltiplos *switches* presentes na rede, o que pode gerar um trabalho intenso e muito susceptível a erros humanos (DIAS et al., 2017).

Figura 13. Comparativo entre cabeamento estruturado tradicional *versus* redes PON



Fonte: Dias et al. (2017).

Com uma arquitetura PON LAN, as distâncias suportadas são de até 20 km, sem usar elementos ativos, como *switches*, ao longo da distribuição da rede, o que também evita que o sinal sofra com interferências eletromagnéticas e com a falta de pontos de alimentação elétrica ao longo do caminho.

4.1.2 Arquitetura PON LAN

Diante dos pontos destacados em relação as redes LAN, vamos expor algumas vantagens na utilização das redes PON, em contraponto ao sistema de cabeamento convencional.

Pode-se apresentar como a questão da infraestrutura simplificada, onde a distância máxima entre a OLT e as ONTs pode ser de até 20km, ou seja, 200 vezes o valor previsto em norma para cabeamento metálico, temos a diminuição das salas técnicas e equipamentos ativos de rede nas camadas intermediaras e assim, consequentemente, há uma redução de espaço físico necessário (Dias et al., 2017).

Também com eletrocalhas e dutos, além da quantidade de cabos ópticos serem muito menores se equiparado ao cabeamento metálico utilizado nas redes LAN.

A necessidade espaços físicos menores, reduz as despesas operacionais, reduzindo os custos gerais. Uma LAN *Ethernet* ativo típica que atende até 2.000 usuários requer 90 unidades de rack de espaço. *Switches* LAN ativos *Ethernet* requerem um rack completo para os *switches* e dois *racks* adicionais para terminar os grandes pacotes de cabos de cobre associados aos *switches*. A solução total exigiria um total de 18 racks de equipamentos de sete metros de altura. Comparativamente, uma LAN Óptica Passiva atende a 7.000 usuários que requerem apenas um *rack* de equipamento e um total de 9 unidades de *rack* dentro do *rack* (APOLAN, 2015).

Além disso, uma LAN Óptica Passiva requer menos sala de telecomunicações e, em alguns casos, elimina-os completamente. Como resultado, uma empresa pode recuperar espaço físico e reduz despesas. A fibra monomodo na LAN óptica passiva, no entanto, pode atingir até 30 quilômetros, permitindo reduzir ou eliminar repetidores, interruptores e armários de comunicação, com a implantação de uma OLT em um único local central (APOLAN, 2015).

Baixo consumo de energia o equipamento concentrador da rede (OLT) tem como característica de atender um grande número de dispositivos finais (até 5120) de rede com um baixo consumo de energia elétrica, podendo representar um consumo de energia 70% menor quando comparado a uma rede convencional com *switches* ativos (FURUKAWA, 2016).

Para uma OLT GPON, através de cada porta, há normalmente a capacidade de atendimento de até 64 pontos/clientes. Considerando que cada ONT normalmente possui até 4 portas *Ethernet* e cada OLT pode possuir de 8 a 72 portas PON, totalizasse uma capacidade de atendimento de até 18.432 pontos de acesso em uma única OLT (PEREIRA; ABBADE, 2016).

A rede PON é uma tecnologia que utiliza em sua rede de distribuição basicamente fibras ópticas monomodo e *splitters*. A fibra óptica monomodo é um meio de transmissão de altíssima capacidade que ainda não foi totalmente explorada. Ou seja, com a evolução da tecnologia, o mesmo cabo óptico monomodo hoje utilizado tem potencial para atingir taxas de transmissão cada vez maiores, sendo demonstrado em testes a possibilidade de transmissão na ordem de Tbps.

Atualmente em sistemas GPON é possível alcançar taxas de até 2.5Gpbs para *downlink* e 1.25 para *uplink* por ponto, porém é possível destacar que em futuras atualizações de tecnologia, será necessário somente a substituição da OLT e das ONTs, e não de todo o cabeamento como ocorre hoje com a solução metálica (DIAS et al., 2017).

A convergência de todos os serviços de rede é o principal recurso da LAN óptica passiva. Ele converge todos os serviços em uma única infraestrutura, eliminando a necessidade de várias plataformas e, ao mesmo tempo, fornecendo serviços de dados de alta velocidade altamente escalonáveis para todos os usuários. Além disso, voz (por exemplo, sistema analógico de telefonia e VoIP), vídeo, serviços de videoconferência, acesso sem fio e serviços de monitoramento (por exemplo, sistema de automação predial, câmeras de segurança e sensores de edifícios) são todos suportados na LAN Óptica Passiva (APOLAN, 2015).

Faz utilização de criptografia nativa *Advanced Encryption Standard* (AES) na comunicação entre OLT e ONT, garantindo a segurança e integridade dos dados. Como o sistema é baseado no uso de fibras ópticas, toda a rede de distribuição PON é imune a interferências eletromagnéticas (DIAS et al., 2017).

Redução dos custos com infraestrutura e instalação, dependendo do tamanho e da disposição da rede, o *Capital Expenditure* (CAPEX), ou seja, capital investido em materiais e instalação física da rede pode ser consideravelmente menor. Visto que um cabo óptico, para aplicação indoor, com poucas fibras ópticas tem dimensões menores e é mais leve que o cabo metálico UTP CAT6 (categoria 6), os custos com instalação de cabeamento para camada de acesso são menores quando comparados à uma solução LAN tradicional. Essa economia fica mais evidente quando se leva em conta que uma única ONT possui 4 portas Ethernet, ou seja, com uma única fibra pode-se atender 4 dispositivos finais [9]. Essa redução de cabos significa também infraestruturas mais simples, redução de espaços e menor tempo de instalação (DIAS et al., 2017).

Menor custo com operação, por utilizar uma topologia centralizada, somente a OLT é acessada para fazer toda e qualquer gerência na rede, incluindo atualizações e modificações nas ONTs, gerando uma economia operacional (em inglês, *Operational Expenditure* - OPEX) considerável em relação às redes tradicionais que utilizam *switches* (DIAS et al., 2017).

5 ANÁLISE DO CAPEX E OPEX

Ao atualizar sua infra-estrutura de rede, é importante analisar as despesas de curto e longo prazo. Os gerentes de TI possuem o desafio de coordenar e trabalhar em parceria com as demais áreas de negócio da organização, garantindo o almejado alinhamento estratégico, visando à geração de valor para a organização e permitindo o aproveitamento de novas oportunidades de negócios. A controladoria está cada vez mais atenta aos benefícios que a TI pode oferecer, bem como da necessidade de reduzir o Custo Total de Propriedade, ou *Total Cost Ownership* (TCO) (LONGO; SAKATA, 2018).

Para começar um planejamento é preciso pensar e decidir entre duas modalidades: CAPEX ou OPEX, ação que não deve ser tratada meramente como uma opção de modalidade de contratação, pois essa decisão deve estar inteiramente alinhada aos objetivos do negócio da companhia (COSTA, 2015).

O termo CAPEX é a sigla em inglês para a expressão “*Capital Expenditure*” (Investimentos em bens de capital) e refere-se ao montante de recursos aplicados no investimento para modernização e/ou expansão da empresa. Já o OPEX ou “*Operational Expenditure*” (Despesas Operacionais) significa o montante de recursos necessários para o funcionamento da empresa (COSTA, 2015).

OPEX faz referência às despesas operacionais, aos custos ou aos dispêndios operacionais. Eles significam os custos contínuos incorridos por um produto, uma empresa ou um projeto. Sua contrapartida, ou seja, despesas com capital CAPEX, são os custos incorridos para o desenvolvimento ou fornecimento de componentes não consumíveis de um produto ou sistema (PULCINELLI, 2014).

Segundo um estudo de caso realizado pela IBM (ANEROUSIS et al., 2014), e divulgado através do artigo *Smarter Networks with Passive Optical LANs*, em uma implementação recente de LAN óptica passiva em uma empresa de médio porte com quatro andares no prédio, cada andar tem 2 armários de telecomunicações, onde ocorre a terminação dos cabos do sistema de distribuição secundário, sendo considerado o ponto de transição do cabeamento principal e o secundário. Sendo que cada andar possui 100 posições de atendimento e cada posição com 2 pontos de rede/portas, além de 8 salas de reunião/conferência com 4 pontos de rede/portas cada. Existem ainda 15 pontos e acesso sem fio por andar. Diante deste cenário são

necessários 1920 pontos de rede/portas a serem atendidas. E uma capacidade agregada de uplink de 20Gb.

A solução (Tabela 2) usando foi uma rede de LAN Óptica Passiva que teve um gasto de capital estimado, CAPEX, em US\$ 580.500, enquanto o custo para uma rede de cobre/metálica é de aproximadamente US\$ 1.085.700, resultando em uma economia de 46%. A rede de LAN Óptica Passiva também tem uma despesa operacional anual menor, de aproximadamente US\$ 33.300, em oposição a US\$ 80.400 da rede de cobre/metálica, registrando uma possível economia projetada de 58%. O custo total de propriedade (TCO) estimado para a tecnologia Passive Optical LAN por um ano é de cerca de US\$ 613.800, e em cinco anos será de US\$ 746.300. Em média, o TCO aproximado para o uso da tecnologia de LAN óptica passiva ao longo de cinco anos pode ser até 47% menor do que as redes LAN tradicionais de cobre (ANEROUSIS et al., 2014).

Tabela 2. Comparativo dos custos entre LAN tradicional e LAN óptica passiva

Capital Costs	Traditional LAN	Passive Optical LAN	Savings
Electronics (Core)	US\$ 156,900	US\$ 127,300	18%
Electronics (Access)	US\$ 510,800	US\$ 227,500	55%
Cabling	US\$ 403,200	US\$ 220,300	45%
Management Software	US\$ 14,800	US\$ 5,400	63%
Total CAPEX	US\$ 1,085,700	US\$ 580,500	46%

Operating Expenses	Year 1	Year 1	
Support	US\$ 25,500	US\$ 15,900	37%
Energy	US\$ 54,900	US\$ 17,400	68%
Total Annual Operating Expenses	US\$ 80,400	US\$ 33,300	58%

Total First Year Expenses (CAPEX+OPEX)	US\$ 1,166,100	US\$ 613,800	47%
---	-----------------------	---------------------	------------

Fonte: Anerousis et al. (2014).

A Motorola conduziu um estudo independente para comparando as redes LAN com as redes LAN óptica passiva, chegando a uma porcentagem de redução de custos em função da quantidade de pontos de rede. É apresentado na Tabela 3 o CAPEX, OPEX e TCO em função da quantidade de pontos (MOTOROLA, 2010).

Tabela 3. Porcentagem de redução de custos em função da quantidade de pontos

Savings	250 ports	1000 ports	5000 ports	10000 ports
CapEx	31%	48%	55%	55%
OpEx	30%	65%	80%	81%
5Year TCO	30%	57%	68%	68%

Fonte: Motorola (2010).

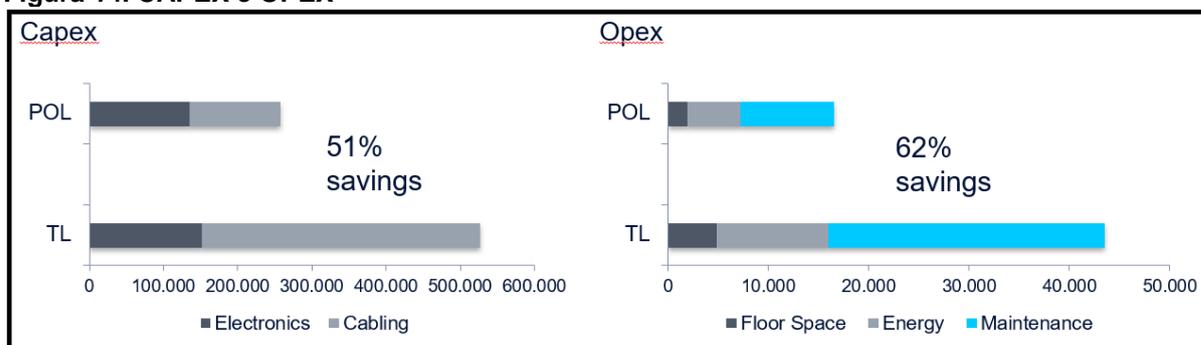
A comparação da Bell Labs das LANs *Ethernet* tradicionais baseadas em cobre e uma LAN óptica passiva mostra que, ao longo de cinco anos, uma rede LAN óptica passiva fornecerá (NOKIA, 2016):

- 9% a 61% de economia em CAPEX;
- 34% a 54% de economia de OPEX;
- 23% a 58% de economia de TCO.

Além disso, essas economias podem aumentar disso, implantar uma arquitetura LAN óptica passiva hoje permite que uma significativamente no longo prazo (10 a 20 anos). Uma vez implantado, uma LAN óptica passiva tem uma vida útil mais longa em comparação com as LAN baseadas em cobre. Além empresa atualize sua rede de 2.5Gb/s GPON hoje, para 40Gb/s com a próxima geração das redes ópticas passivas Rede 2 (NG-PON2). Isso faz com que o investimento em um LAN óptica passiva à prova de futuro (NOKIA, 2016).

O Bell Labs da Nokia calculou (Figura 14) que, para uma empresa com 10 andares e 2.000 pontos finais, a economia de CAPEX de LAN óptica passiva versus LAN de cobre seria de 56% e a economia de OPEX seria de 54%.

Figura 14. CAPEX e OPEX



Fonte: Nokia (2016).

Conforme artigo publicado na revista, Dias et al. (2017), onde foi utilizado o seguinte cenário, prédio de configuração típica do Governo do Estado da Bahia, com área física total de 1350m² por andar, distribuídos através de 05 pavimentos e 01 subsolo, com um total de 1.708 pontos de acesso de rede, onde foi realizado pela PRODEB, no ano de 2013, o projeto de cabeamento estruturado convencional. Para fins de comparação, atualizou-se os custos de materiais envolvidos neste projeto de cabeamento estruturado e realizou-se a comparação detalhada de custo com um possível novo projeto PON LAN.

Para ambos os projetos, obteve-se o CAPEX (Tabela 4), onde para a melhor representação o custo total foi dividido em 4 (quatro) categorias: a) infraestrutura horizontal; b) infraestrutura vertical; c) sala de equipamentos; e d) serviço de instalação.

Tabela 4. Representação dos custos com CAPEX

	LAN	PON	ECONOMIA
INFRAESTUTURA HORIZONTAL	R\$ 498.000,24	R\$ 534.838,00	-7%
INFRAESTRUTURA VERTICAL	R\$ 227.723,68	R\$ 56.488,62	75%
SALA DE EQUIPAMENTOS (DATA CENTER)	R\$ 29.213,20	RS 61.109,40	-107%
SERVIÇO DE INSTALAÇÃO	R\$ 337.980,00	R\$ 249.013,33	26%
TOTAL CAPEX	R\$1.092.917,12	R\$ 901.449,35	18%

Fonte: Dias et al. (2017).

Também a partir dos projetos elaborados obteve-se o OPEX para cada solução. Para melhor representação o custo total foi dividido em 4 (quatro) categorias: a) custo de gerencia de rede; b) custo de refrigeração; c) custo de energia (ativos de rede); e d) espaço físico; onde os custos são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Representação dos custos com OPEX

	LAN	PON	ECONOMIA
CUSTO DE GERÊNCIA DA REDE	R\$350.746	R\$242.921	30,74%
CUSTO DE REFRIGERAÇÃO	R\$ 24.463	R\$ 4.077	83,3%
CUSTO DE ENERGIA (ATIVOS DA REDE)	R\$ 21.943	R\$ 19.184	12,6%
TOTAL OPEX	R\$397.152	R\$266.182	32,97%
ESPAÇO FÍSICO NECESSÁRIO	71m ²	25m ²	63,9%

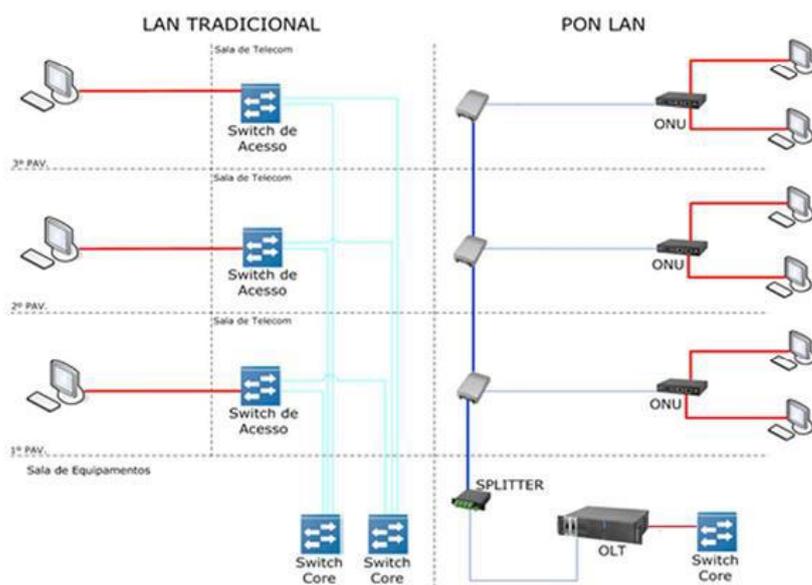
Fonte: Dias et al. (2017).

Com base nos dados apresentados anteriormente, os benefícios da tecnologia LAN óptica passiva são, a de energia elétrica, pois elimina os *switches* existentes entre a sala de telecomunicações e a estação de trabalho, além da menor necessidade de refrigeração no *data center*, pois a quantidade de equipamentos eletrônicos é menor, a maior distância entre a ONU e a OLT permite atender sem a necessidade de salas técnicas para regeneração do sinal. Redução na quantidade de dutos para passagem de cabos, pois além dos cabos ópticos serem menores e mais leves, a divisão dos cabos ópticos permite a interligação de um maior número de estações de trabalho.

O CAPEX é consideravelmente menor, pois a quantidade de cabos óticos utilizados é reduzida em comparação a quantidade de cabos metálicos utilizados para atender a mesma quantidade, essa redução de cabos influencia diretamente na quantidade de dutos e no espaço em *rack* utilizado para acomodar os equipamentos ativos, além de não haver a necessidade de disponibilizar pontos intermediários com energia (onde eram colocados os *switches*), que podem inclusive necessitar de serviços obras de infraestrutura civil e elétrica.

Já o OPEX também é reduzido pois todo gerenciamento (Figura 15) é feito em apenas um equipamento, a OLT, dispensando a necessidade de toda alteração ter que ser feita em todos equipamentos, como é o caso da rede LAN tradicional.

Figura 15. Simplificação na configuração e gerenciamento



Fonte: Pinheiro (2015).

6 CONCLUSÃO

No trabalho proposto, procuramos abordar de maneira conceitual uma rede LAN, explicar a tecnologia *Passive Optical Network* (PON), um comparativo entre as tecnologias LAN e PON LAN e suas vantagens e desvantagens, bem como uma estimativa dos custos envolvidos, os quais foram descritos nos capítulos 1, 2, 3 e 4.

A tecnologia LAN óptica passiva, apresenta várias vantagens que podem ser elencadas, como (PINHEIRO, 2016):

- Vantagens técnicas:
 - Centralização de gerenciamento;
 - Simplicidade de construção, operação e manutenção;
 - Redução de custos com infraestrutura;
 - Convergência IP;
 - Disponibilidade;
 - Facilidade de atualização da rede;
 - Não é limitada pelas restrições de distância e largura de banda das redes metálicas tradicionais;
 - Alto valor agregado (produtos e serviços).
- Vantagens econômicas:
 - Redução de ativos, armários e racks de conexão;
 - Reduz drasticamente a necessidade de alimentação elétrica e infraestrutura de refrigeração;
 - Elevada expectativa de duração do cabeamento;
 - Redução do ciclo de atualização da infraestrutura de cabeamento (à medida que a tecnologia evolui, apenas os terminais ativos necessitam de atualização).

As empresas que procuram atualizar ou substituir sua infraestrutura de rede estão percebendo o valor da LAN óptica passiva (APOLAN, 2015).

A evolução das redes PON pode ser observada com o surgimento da rede PON LAN, ficando claro que o futuro das redes de transmissão de dados é cada vez mais diminuir a utilização de cabos metálicos e aumentar o uso de cabos ópticos, por diversos fatores, sendo os principais: a redução do consumo de energia elétrica, tornando cada vez mais sustentável a tecnologia; a menor ocupação de dutos; maior

distância de atendimento e a facilidade de *upgrade* da rede, ficando cada vez mais preparada para o futuro (PEREIRA; ABBADE, 2016).

Apesar de ser um conceito relativamente novo e ainda não possuir uma regulamentação específica para seu uso nestas condições, a utilização das redes PON em aplicações LAN já é uma realidade que conta com alguns casos de sucesso já implementados no mercado. Sendo assim, a solução PON LAN surge como uma grande alternativa aos difundidos sistemas de cabeamento estruturado convencionais baseados em cabeamento metálico (DIAS et al., 2017).

As redes ópticas passivas atualmente apresentam uma relação custo-benefício bastante atraente para aplicação em diversos ambientes, comercial e industrial, uma vez que possibilitam uma redução significativa de custos de projeto, conforme apresentado Capítulo 4. Permite que sejam resolvidos problemas relacionados com restrição de espaço físico e encaminhamento de cabos devido à ampliação e ou modernização da rede. Redes passivas permitem ainda a redução dos recursos de refrigeração o que, em tempos de responsabilidade social, também se traduz em vantagem competitiva.

REFERÊNCIAS

ANEROUSIS, N. et al. **Smarter networks with passive optical LANs**. Copyright IBM Corporation, out. 2014. Disponível em: <<https://www-01.ibm.com/common/ssi/cgi-bin/ssialias?htmlfid=SFW03021USEN>>. Acesso em: 31 ago. 2018.

APOLAN. **How passive optical LANs are enlightening the enterprise LAN**. Association for Passive Optical LAN (APOLAN), abr. 2015. Disponível em: <http://apolanglobal.wpengine.com/wp-content/uploads/2015/04/Passive-Optical-LAN_White-Paper_150520.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2018.

COSTA, Walmor Antônio da. **Capex ou Opex: como investir em tempos de crise?** COMPUTERWORLD, jun. 2015. Disponível em: <<https://computerworld.com.br/2015/06/24/capex-ou-opex-como-investir-em-tempos-de-crise/>>. Acesso em: 31 ago. 2018.

DIAS, Leonardo P. et al. **Redes ópticas passivas: uma nova alternativa para as redes locais LAN**. Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação, v. 7, n. 2, ago. 2017. Disponível em: <<http://rtic.com.br/index.php/rtic/article/view/91>>. Acesso em: 29 ago. 2018.

FEY, Ademar F.; GAUER, Raul R. **Cabeamento estruturado: da teoria à prática**. Editora ITIT, 3. ed., 2016.

FILGUEIRAS, Gustavo Mariani Gomes Daniel; PESSOA, Cláudio Roberto Magalhães. **FTTH em redes ópticas passivas**. Revista Engenharias On-line, v. 1, n. 2, 2015. Disponível em: <<http://www.fumec.br/revistas/eol/article/view/3366/1909>>. Acesso em: 31 ago. 201

FURUKAWA. **Laserway: para ambientes enterprise**. Guia de aplicação: Furukawa, 2016.

LONGO, Luci; SAKATA, Nathalya Ayumi Barbosa. **Custo total de propriedade (total cost ownership) para decisões de investimentos em Tecnologia de Informação (TI)**. Revista Capital Científico, v. 16, n. 1, 2018. Disponível em: <<https://revistas.unicentro.br/index.php/capitalcientifico/article/view/4867/html>>. Acesso em: 31 ago. 2018.

NOKIA. **Passive optical LAN versus copper-based Ethernet: A Bell Labs financial analysis of the value of POL in a next-generation digital enterprise**. Disponível em: <<https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ah>>

UKEwjGhqBivYvdAhVGHJAKHbpWCfgQFjABegQICBAC&url=http%3A%2F%2Fau.westcon.com%2Fdocuments%2F56566%2FBell%2520Labs%2520financial%2520analysis%2520of%2520the%2520value%2520of%2520POL%2520in%2520a%2520next-generation%2520digital%2520enterprise.pdf&usg=AOvVaw2GOfmTnnWBXx9d1VpfVjIT>. Acesso em: 31 ago. 2018.

MARIN, Paulo Sergio. **Cabeamento estruturado - desvendando cada passo - do projeto à instalação**. 4. ed. São Paulo: Editora Érica, 2013.

MOTOROLA. **Passive optical LAN: the architectural choice for eco-friendly, low cost, highperformance building networks**. ©Motorola, Inc. 2010. Disponível em: <https://www.motorolasolutions.com/content/dam/msi/docs/business/_documents/white_paper/_static_files/polarchitecturalchoiceforhighperformancebuilnetworkswp.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2018.

OLIVEIRA, Patrícia Beneti. **Soluções de atendimento em fibra óptica**. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Engenharia Elétrica da Faculdade Pitágoras, Belo Horizonte/MG, jul. 2014. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutoriaisolfo1/default.asp>>. Acesso em: 01 set. 2018.

PEREIRA, Eduardo Bernardes; ABBADE, André Luis da Rocha. **Comparativo rede PON x rede mista**. V SRST - Seminário de Redes e Sistemas de Telecomunicações, set. 2016. Disponível em: <<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEWjhodDr9pfdAhUMvVkkHYAfBzoQFjAAegQICRAC&url=https%3A%2F%2Fwww.inatel.br%2Fbiblioteca%2Fpos-seminarios%2Fseminario-de-redes-e-sistemas-de-telecomunicacoes%2Fv-srst%2F9517-comparativo-rede-pon-x-rede-mista%2Ffile&usg=AOvVaw2KiYs5lhe7zFipt7nB1nrz>>. Acesso em: 31 ago. 2018.

PEREIRA, Francisco Carlos de Lima. **Proposta de um método para otimização e dimensionamento de redes GPON**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Informática Aplicada (PUCPR). Curitiba, 2013. 73p. Disponível em: <https://www.ppgia.pucpr.br/pt/arquivos/mestrado/dissertacoes/2013/FranciscoCarlosDeLimaPereira_Ver_Final.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2018.

PICIN, Odair J.; GIMENEZ, Edson J. C. **Rede GPON: conceito e aplicações**. III SRST - Seminário de Redes e Sistemas de Telecomunicações, set. 2015.

PINHEIRO, José Mauricio. **PON - conheça como é estrutura dessa rede**. ISPBLOG, set. 2016. Disponível em: <<https://www.ispblog.com.br/2016/09/16/estrutura-pon/>>. Acesso em: 31 ago. 2018.

PINHEIRO, José Maurício dos Santos. **Aplicabilidade de redes ópticas passivas em substituição ao cabeamento metálico no ambiente industrial**. XII SEGeT: Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 28-30 out. 2015. Disponível em: <<https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos15/572280.pdf>>. Acesso em: 01 set. 2018.

PULCINELLI, Márcio. **Diferenças entre CAPEX e OPEX**. TI Especialistas, mar. 2014. Disponível em: <<https://www.tiespecialistas.com.br/diferencas-entre-capex-e-opex/>>. Acesso em: 31 ago. 2018.

SANCHEZ, Willian P. **PON: Redes ópticas de acesso de baixo custo**. Teleco©, jun. 2004. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/pdfs/tutorialpon.pdf>>. Acesso em: 31 ago. 2018.

SILVA, André Felipe Rodrigues da; et al. **Novas tecnologias de rede óptica passiva e tendências**. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Engenharia Elétrica com Ênfase em Telecomunicações do Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), Santa Rita do Sapucaí/MG, jul. 2013. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialpontec1/default.asp>>. Acesso em: 31 ago. 2018.

SILVA, Cleiber Marques da. **PON - Passive Optical Network**. Material didático. IFSC, São José/SC, jul. 2009. Disponível em: <http://www.sj.ifsc.edu.br/~mdoniak/SistemasOpticos/cleiber_pon.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2018.

SOUZA FILHO, Joanildo de; MATIAS, Mauro Cesar. **Cabeamento estruturado**. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI). Departamento Regional de Santa Catarina. Brasília: 2012. 165 p. Disponível em: <<https://professorleonardomello.files.wordpress.com/2013/03/cabeamento-estruturado.pdf>>. Acesso em: 01 set. 2018.

TANENBAUM, Andrew S.; WETHERALL, David. **Redes de computadores**. Tradução Daniel Vieira, revisão técnica Isaías Lima. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.