



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO DA
PARAIBA – IFPB**

**COORDENAÇÃO DO CURSO SUPERIOR DE
TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE
TELECOMUNICAÇÕES**

WELLINGTON FERREIRA DOS SANTOS

**COMPARATIVO DE REDES POL VERSUS REDES LOCAIS METÁLICAS ATIVAS
TRADICIONAIS**

JOÃO PESSOA/PB 2026

WELLINGTON FERREIRA DOS SANTOS

**COMPARATIVA REDE POL VERSUS REDES LOCAIS METÁLICAS ATIVAS
TRADICIONAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Tecnólogo em Telecomunicações.

Orientador: Dr. Adaildo Gomes D. Assunção Junior

João Pessoa/PB 2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – CIP
Biblioteca Nilo Peçanha –IFPB, *Campus* João Pessoa

S237c Santos, Wellington Ferreira dos.

Comparativo de redes POL versus redes locais metálicas ativas tradicionais / Wellington Ferreira dos Santos. – 2026.

50 f. : il.

TCC (Graduação – Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações) – Instituto Federal da Paraíba – IFPB / Coordenação de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações, 2026.

Orientação: Prof^o. Dr. Adaildo Gomes D’Assunção Junior.

1.Redes de computadores. 2. Cabeamento estruturado. 3.Fibra óptica. 4. *Passive optical Lan (POL)*. 5. Redes metálicas tradicionais. I. Título.

CDU 004.7:621.315.2(043)

WELLINGTON FERREIRA DOS SANTOS

COMPARATIVO DE REDES POL VERSUS REDES LOCAIS METÁLICAS ATIVAS TRADICIONAIS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO submetido à Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em Telecomunicações, do Instituto Federal da Paraíba (IFPB), em cumprimento aos requisitos institucionais para a obtenção do Título de **TECNÓLOGO EM SISTEMAS DE TELECOMUNICAÇÕES**.

Aprovado em 10 de fevereiro de 2026.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Adaildo Gomes D'Assunção Junior
Instituto Federal da Paraíba (IFPB)
Orientador

Prof. Dr. Gustavo Araujo Cavalcante
Instituto Federal da Paraíba (IFPB)
Examinador

Prof. Dr. Patric Lacouth da Silva
Instituto Federal da Paraíba (IFPB)
Examinador

Documento assinado eletronicamente por:

- **Adaildo Gomes D Assuncao Junior**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 16/02/2026 07:16:14.
- **Gustavo Araujo Cavalcante**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 18/02/2026 12:48:09.
- **Patric Lacouth da Silva**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 19/02/2026 16:32:27.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 04/02/2026. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código 829802
Verificador: 1b13cbaf44
Código de Autenticação:



AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha esposa, companheira incansável, pelo apoio, paciência e compreensão em todos os momentos desta caminhada acadêmica. Sua presença constante foi essencial para que eu tivesse forças para superar os desafios e alcançar mais esta conquista.

À minha filha Maria Júlia, minha bebê linda, que trouxe luz e razão à minha vida, inspirando-me diariamente a persistir e acreditar que todo esforço vale a pena. Sua chegada foi a maior motivação para que eu concluísse este trabalho com dedicação e esperança em um futuro melhor.

Estendo minha gratidão ao meu orientador, Professor Dr. Adaildo Gomes D. Assunção Júnior, pela orientação firme, disponibilidade e valiosas contribuições ao longo desta jornada. Sua dedicação e compromisso com o ensino foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho e para meu crescimento acadêmico.

A todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para minha formação pessoal e profissional, colegas, amigos e professores, deixo registrado o meu sincero agradecimento. Cada palavra de incentivo, cada gesto de apoio e cada ensinamento recebido fizeram diferença no meu percurso, tornando esta conquista possível.

A transmissão de informações por
meio da luz mudará
fundamentalmente a forma como
nos comunicamos.

(Charles Kuen Kao, Prêmio Nobel de Física, 2009)

RESUMO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo analisar comparativamente as redes locais metálicas ativas tradicionais e as redes Passive Optical LAN (POL), destacando suas características técnicas, operacionais e econômicas, bem como os impactos de sua adoção em ambientes corporativos e institucionais. Para tanto, foi realizada uma fundamentação teórica que abordou conceitos históricos e tecnológicos sobre cabeamento metálico, fibras ópticas, arquiteturas FTTx e redes ópticas passivas, possibilitando a compreensão das vantagens e limitações de cada solução. Além da revisão bibliográfica, foi desenvolvido um estudo de caso aplicado em um edifício comercial composto por térreo e quatro andares, no qual foram projetados dois cenários distintos de infraestrutura de rede: um baseado em cabeamento estruturado metálico na categoria CAT6 e outro utilizando arquitetura PON LAN com fibra óptica monomodo. O comparativo considerou aspectos como infraestrutura física, consumo energético, espaço ocupado, custo inicial, custo de manutenção, escalabilidade e custo total de propriedade (TCO). Os resultados demonstraram que, apesar da rede metálica tradicional apresentar menor custo inicial e ampla consolidação no mercado, sua manutenção, consumo energético elevado e limitação de escalabilidade a tornam menos eficiente no médio e longo prazo. Já a solução PON LAN, embora demande maior investimento inicial em equipamentos ópticos, destacou-se pela robustez, eficiência energética, alta capacidade de banda, menor necessidade de equipamentos ativos e significativa redução do TCO ao longo dos anos, revelando-se a alternativa mais adequada para edifícios comerciais que buscam desempenho, confiabilidade e sustentabilidade. A análise também evidenciou que a adoção de redes POL transcende ganhos imediatos, preparando a infraestrutura para integração com tecnologias emergentes como 5G, Internet das Coisas (IoT), realidade aumentada, automação e sistemas de monitoramento em tempo real, alinhando-se às tendências globais de transformação digital e cidades inteligentes. Assim, conclui-se que a migração para arquiteturas baseadas em fibra óptica passiva representa um passo estratégico para a construção de redes mais resilientes, escaláveis e sustentáveis, capazes de suportar as crescentes demandas de conectividade da sociedade contemporânea e futura.

Palavras-chave: Redes de computadores. Cabeamento estruturado. Fibra óptica. Passive optical LAN (POL). Redes metálicas tradicionais.

ABSTRACT

This Final Graduation Project aims to carry out a comparative analysis between traditional active metallic local area networks (LAN) and Passive Optical LAN (POL), highlighting their technical, operational, and economic characteristics, as well as the impacts of their adoption in corporate and institutional environments. For this purpose, a theoretical framework was developed addressing historical and technological concepts related to metallic cabling, optical fibers, FTTx architectures, and passive optical networks, enabling a comprehensive understanding of the advantages and limitations of each solution. In addition to the literature review, a case study was conducted in a commercial building consisting of a ground floor and four upper floors, in which two distinct network infrastructure scenarios were designed: one based on structured metallic cabling (CAT6) and another using a PON LAN architecture with single-mode optical fiber. The comparative analysis considered aspects such as physical infrastructure, energy consumption, occupied space, initial cost, maintenance costs, scalability, and total cost of ownership (TCO). The results showed that although the traditional metallic LAN presented a lower initial cost and wide market consolidation, its higher energy consumption, maintenance requirements, and limited scalability make it less efficient in the medium and long term. On the other hand, the PON LAN solution, despite requiring a higher initial investment in optical equipment, proved to be superior in terms of robustness, energy efficiency, bandwidth capacity, lower need for active equipment, and significant TCO reduction over the years, establishing itself as the most suitable alternative for modern commercial buildings seeking performance, reliability, and sustainability. The analysis also demonstrated that the adoption of POL networks goes beyond immediate benefits, preparing infrastructures for integration with emerging technologies such as 5G, Internet of Things (IoT), augmented reality, automation, and real-time monitoring systems, aligning with global trends in digital transformation and smart cities. Therefore, it can be concluded that the migration to passive optical fiber-based architectures represents a strategic step toward building more resilient, scalable, and sustainable networks, capable of supporting the growing connectivity demands of contemporary and future society.

Keywords: Computer Networks. Structured Cabling. Optical Fiber. Passive Optical LAN (POL). Traditional Metallic Networks.

LISTA DE IMAGENS

Figura 1 – Rede local	17
Figura 2 – Switch 24 portas HP	18
Figura 3 – Estrutura de uma Fibra Óptica	19
Figura 4 – Fibra Multimodo e Monomodo, respectivamente	20
Figura 5 – Redes FTTx	22
Figura 6 – Splitter PLC 1x16 Divisor Passivo Fibra Óptica Conectorizado SC APC.....	24
Figura 7 – Rede PON LAN	25
Figura 8 - OLT fabricante ZTE modelo C220.....	27
Figura 9 - Intelbras ONT WiFiber 121AC 2 Portas Gigabit - 4 Antenas	27
Figura 10 – Topologia da Rede PON LAN	28
Figura 11 – Comparativo entre Rede LAN Metálica e Rede PON LAN.....	31
Figura 12 – Planta andar Térreo rede metálica	36
Figura 13 – Planta andares Superiores rede metálica	37
Figura 14 – Planta andar Térreo rede PON LAN	39
Figura 15 – Planta andares Superiores rede PON LAN	40
Figura 16 – Evolução da Tecnologia PON.....	43

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	<i>Associação Brasileira de Normas Técnicas</i>
CAT6	<i>Categoria 6 (cabo de par trançado para cabeamento estruturado)</i>
CEO	<i>Caixa de Emenda Óptica</i>
dB	<i>Decibel</i>
EDFA	<i>Erbium-Doped Fiber Amplifier (Amplificador de Fibra Dopada com Érbio)</i>
FTTH	<i>Fiber To The Home (Fibra até a Residência)</i>
FTTx	<i>Fiber To The x (Fibra até um ponto específico, como casa, prédio ou gabinete)</i>
Gbps	<i>Gigabits por segundo</i>
GPON	<i>Gigabit Passive Optical Network (Rede Óptica Passiva Gigabit)</i>
IDF	<i>Intermediate Distribution Frame (Rack de Distribuição Secundário)</i>
IFPB	<i>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba</i>
IoT	<i>Internet of Things (Internet das Coisas)</i>
kVA	<i>Quilovolt-ampère</i>
LAN	<i>Local Area Network (Rede de Área Local)</i>
MDF	<i>Main Distribution Frame (Rack de Distribuição Principal)</i>
Mbps	<i>Megabits por segundo</i>
NG-PON2	<i>Next-Generation Passive Optical Network 2 (Rede Óptica Passiva Geração 2)</i>
OLT	<i>Optical Line Terminal (Terminal de Linha Óptica)</i>
ONT	<i>Optical Network Terminal (Terminal de Rede Óptica)</i>
PON	<i>Passive Optical Network (Rede Óptica Passiva)</i>
POL	<i>Passive Optical LAN (Rede Local Óptica Passiva)</i>
RJ45	<i>Registered Jack 45 (Conector de Rede Padrão)</i>
SC APC	<i>Subscriber Connector Angled Physical Contact (Conector de Fibra Óptica)</i>
STP	<i>Shielded Twisted Pair (Par Trançado Blindado)</i>
TCO	<i>Total Cost of Ownership (Custo Total de Propriedade)</i>
TIA/EIA	<i>Telecommunications Industry Association / Electronic Industries Alliance</i>
UTP	<i>Unshielded Twisted Pair (Par Trançado sem Blindagem)</i>
WAN	<i>Wide Area Network (Rede de Longa Distância)</i>
WDM	<i>Wavelength Division Multiplexing (Multiplexação por Divisão em Comprimento de Onda)</i>
XG-PON	<i>10-Gigabit-capable Passive Optical Network (Rede Óptica Passiva de 10 Gbps)</i>

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Evolução dos cabos Pares Trançados.....	18
Tabela 2 – Comparativo Técnico e de TCO.....	35
Tabela 3 – Materiais e Equipamentos (andar térreo).....	36
Tabela 4 – Distribuição de Pontos de Rede.....	37
Tabela 5 – Materiais e Equipamentos (por andar e total).....	38
Tabela 6 – Distribuição por Ambiente (por andar).....	38
Tabela 7 – Materiais e Equipamentos (andar térreo – Rede PON LAN).....	39
Tabela 8 – Distribuição de Pontos por Ambiente (andar térreo – Rede PON LAN).....	40
Tabela 9 – Materiais e Equipamentos (andares superiores – Rede PON LAN).....	40
Tabela 10 – Distribuição de Pontos por Ambiente (superiores – Rede PON LAN).....	41
Tabela 11 - Comparativo Financeiro — LAN Metálica x Rede POL.....	41

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.2 Objetivos	15
1.2.1 Objetivo Geral	15
1.2.2 Objetivos Específicos	15
1.3 Organização do Trabalho	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 Redes Local Metálica Tradicional (Ativa)	17
2.2 Fibras Ópticas	19
2.3 Redes FTTX	21
2.4 Rede Óptica Passiva (PON LAN)	23
2.4.1 Topologia e a Arquitetura das Redes PON	26
3 CABEAMENTO METÁLICO VS. REDES POL	30
3.1 Comparativo de Infraestrutura	30
3.2 Comparativo Operacional	31
4 ESTUDO DE CASO	34
4.1 Escopo do Projeto	34
4.2 Normas e Padrões Técnicos Adotados	34
4.3 Projeto 1: Rede LAN Tradicional com Cabeamento CAT6	34
4.4 Projeto 2: Rede PON LAN com Fibra Óptica (GPON)	35
4.5 Comparativo Técnico e de TCO	35
4.6 Detalhamento: Rede LAN Tradicional com Cabeamento CAT6	35
4.6.1 Planta - Andar Térreo	35
4.6.2 Planta - Andares Superiores (4 andares)	37
4.7 Detalhamento: Rede PON LAN com Fibra Óptica	38
4.7.1 Planta - Andar Térreo	38
4.7.2 Planta - Andares Superiores (4 andares)	40
4.8 Conclusões Técnica do Estudo de Caso	42
5. TENDÊNCIAS E FUTURO DAS REDES POL	43
5.1 Avanços Tecnológicos e padrões Emergentes	43
5.2 O Impacto das Comunicações no futuro	44
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como objetivo realizar um estudo comparativo entre a tecnologia Passive Optical LAN (POL) e as redes locais metálicas ativas tradicionais, analisando seus aspectos técnicos, econômicos e operacionais no contexto de ambientes corporativos e institucionais. A pesquisa busca compreender as vantagens, limitações, desafios de implementação e perspectivas futuras dessas duas abordagens de infraestrutura de rede, contribuindo para a tomada de decisão estratégica em projetos de cabeamento estruturado e modernização tecnológica.

Nos últimos anos, impulsionado pelas transformações digitais e novas demandas do mercado corporativo, há uma crescente demanda por largura de banda, maior confiabilidade, escalabilidade e eficiência energética. Nesse cenário, as redes baseadas em fibra óptica passaram a ocupar papel central na infraestrutura tecnológica contemporânea, consolidando-se como o backbone utilizado por operadoras e organizações de diferentes portes. Conforme destaca Silva (2018, p. 25), o avanço da fibra óptica está associado à sua redução de custos e às suas vantagens técnicas em relação às redes metálicas, tais como imunidade à interferência eletromagnética, menor consumo de energia elétrica, maiores taxas de transmissão e maior alcance de sinal.

Paralelamente ao avanço das redes FTTH e GPON no setor de telecomunicações, a aplicação da tecnologia óptica em redes locais corporativas tem se expandido por meio do modelo Passive Optical LAN (POL). Essa arquitetura utiliza princípios das redes ópticas passivas para estruturar ambientes internos, substituindo parte significativa da infraestrutura metálica tradicional. Entre seus principais diferenciais destacam-se a ampliação da largura de banda, maior alcance físico com menor necessidade de equipamentos ativos intermediários e potencial redução de custos operacionais no longo prazo.

Entretanto, apesar de suas vantagens técnicas, a implementação de uma rede POL envolve desafios relevantes. Segundo Quintão (2008, p. 25), a instalação e manutenção de redes ópticas demandam mão de obra especializada, cuja disponibilidade ainda é limitada no mercado. Além disso, os investimentos iniciais podem ser elevados, especialmente em processos de migração de redes metálicas ativas para infraestruturas ópticas passivas. Essa transição exige planejamento criterioso para assegurar a continuidade dos serviços e a compatibilidade com as demandas organizacionais.

Diante desse contexto de transformação tecnológica, torna-se pertinente analisar de forma estruturada as diferenças entre a rede POL e as redes LAN metálicas ativas tradicionais, considerando critérios como desempenho, escalabilidade, consumo energético, custo total de propriedade (TCO), complexidade de implantação e manutenção. A compreensão desses fatores permite avaliar em quais cenários cada tecnologia se mostra mais adequada, bem como os impactos estratégicos da adoção de soluções ópticas em redes corporativas.

A pesquisa parte da premissa de que, embora as redes metálicas ativas ainda sejam amplamente utilizadas e consolidadas, a tecnologia POL apresenta potencial significativo para atender às demandas futuras relacionadas ao crescimento do tráfego de dados, convergência de serviços (voz, dados e vídeo) e eficiência energética. Dessa forma, o estudo busca contribuir para o debate acadêmico e técnico acerca da modernização das infraestruturas de rede, oferecendo uma análise fundamentada em revisão de literatura, estudos recentes e publicações especializadas na área.

Metodologicamente, o trabalho adota uma abordagem qualitativa baseada em revisão bibliográfica, examinando produções científicas, normas técnicas, estudos de caso e análises de especialistas. Essa estratégia possibilita uma visão abrangente das aplicações teóricas e práticas das duas tecnologias, permitindo estabelecer um comparativo estruturado que subsidie decisões técnicas e estratégicas em projetos de redes locais.

Por fim, a escolha do tema também se fundamenta na vivência prática acumulada ao longo de anos de atuação na área de redes e telecomunicações, especialmente em projetos de infraestrutura, implantação e manutenção de sistemas de comunicação. Essa experiência profissional, aliada à formação acadêmica na área tecnológica, contribui para uma análise aplicada e alinhada às demandas reais do mercado, fortalecendo a relevância prática do estudo sem comprometer seu rigor científico.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho procura realizar uma análise comparativa entre duas tecnologias de redes distintas, mas com a mesma finalidade de promover acesso à transmissão de informações, ou seja: Rede cabeada Metálica tradicional (LAN) versus Rede por Fibra Óptica (PON LAN).

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) O objetivo deste trabalho é fornecer uma compreensão detalhada do papel das redes POL no contexto das redes locais de computadores;
- b) Identificar os principais desafios enfrentados durante sua implementação;
- c) Propor soluções viáveis para sua adoção eficaz nos sistemas de telecomunicações.

1.3 Organização do Trabalho

- Capítulo 1 – Introdução: Este capítulo justifica o interesse pelo tema e estabelecendo as bases para a análise comparativa entre redes POL e redes LAN metálicas ativas tradicionais.
- Capítulo 2 – Fundamentação Teórica: Apresento os conceitos, a evolução e as características técnicas das principais tecnologias de redes metálicas, ópticas e PON com foco na comparação entre suas arquiteturas, desempenho e aplicabilidade em cenários de telecomunicações.
- Capítulo 3 – Cabeamento Metálico vs. Rede PON LAN: Analiso o comparativamente entre as redes cabeadas metálicas e as redes POL LAN, destacando suas diferenças em infraestrutura e operação, com foco em desempenho, escalabilidade e eficiência.
- Capítulo 4 – Estudo de Caso: O objetivo deste capítulo é apresentar um estudo comparativo entre dois projetos de cabeamento, rede LAN tradicional com CAT6 e rede PON LAN em um edifício comercial, analisando infraestrutura, desempenho e custo-benefício.
- Capítulo 5 – Tendências e Futuro das Redes POL: Analiso as principais tendências, avanços tecnológicos e impactos futuros das redes POL no cenário das

telecomunicações, destacando sua integração com tecnologias emergentes e seu papel estratégico na transformação digital.

- Capítulo 6 – Considerações Finais: Este capítulo apresenta as considerações finais obtidas a partir do comparativo alcançado entre os dois projetos em um edifício comercial usado no estudo de caso.
- Referencial Bibliográfico: Neste capítulo são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas durante este trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Redes Locais Metálicas Tradicionais (Ativa)

As redes locais metálicas tradicionais, conhecidas como LANs (Local Area Networks), desempenham um papel fundamental no desenvolvimento das infraestruturas de comunicação de dados desde a década de 1970. Construídas predominantemente com cabos de cobre, como o par trançado e o cabo coaxial, essas redes permitiram a conectividade eficiente entre dispositivos em áreas geograficamente limitadas, como edifícios ou campi universitários, como exemplo a figura 1. Embora o cabo coaxial já esteja praticamente em desuso nesse contexto, o par trançado segue como padrão predominante. Os cabos de par trançado são compostos por pares de fios de cobre entrelaçados com o objetivo de reduzir interferências eletromagnéticas e interferências entre pares. Dependendo da presença de blindagem, esses cabos podem ser classificados como UTP (*Unshielded Twisted Pair*), sem blindagem, ou STP (*Shielded Twisted Pair*), que possui proteção adicional contra interferências externas (KUROSE; ROSS, 2017).

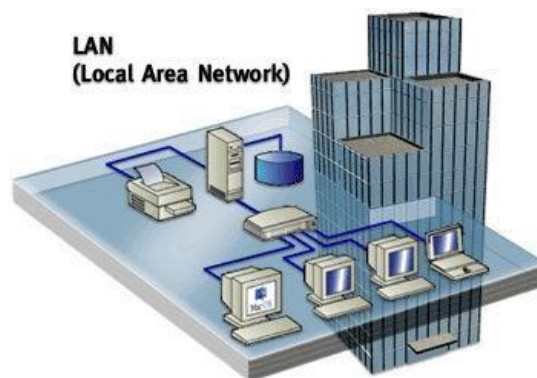


Figura 1 – Rede local

Fonte: Adaptado de TORRES (2004).

A evolução das LANs metálicas acompanhou a demanda crescente por comunicações mais rápidas e eficientes entre computadores. Um marco importante foi o desenvolvimento da tecnologia Ethernet, criada pela Xerox PARC em 1973, que posteriormente se consolidou como o principal padrão de transmissão de dados em redes locais. Com o passar dos anos, essas redes passaram por significativas inovações tecnológicas, como a transição de velocidades de 10

Mbps com a Ethernet 10BASE-T para 100 Mbps com a Fast Ethernet, até alcançar velocidades superiores com a Gigabit Ethernet (1 Gbps) e, mais recentemente, com a 10 Gigabit Ethernet (10 Gbps). A tabela 2.1.1 demonstra a categoria de desempenho de cabos de pares trançados.

Categoria de Desempenho de Cabos Pares Trançados			
Categoria	Tipo de cabo (*)	Largura de Banda	Taxa de Transmissão
Cat. 3	U/UTP e F/UTP	16 MHz	16 Mbps
Cat. 5e	U/UTP e F/UTP	100 MHz	1 Gbps
Cat. 6	U/UTP e F/UTP	250 MHz	1 Gbps
Cat. 6A	U/UTP e F/UTP	500 MHz	10 Gbps
Cat. 7	F/UTP e S/FTP	600 MHz	10 Gbps
Cat. 7A	F/UTP e S/FTP	1 GHz	10 Gbps
Cat. 8 (**)	F/UTP e S/FTP	2 GHz	40 Gbps

(*) Cabos Reconhecidos (**) Em estudo pelo IEEE

Categoria de Desempenho de Cabos Pares Trançados

Tabela 1 – Evolução dos cabos Pares Trançados

A consolidação das redes LAN metálicas pode ser atribuída a fatores como a facilidade de instalação, manutenção relativamente simples e ampla compatibilidade com diversos dispositivos e tecnologias. No entanto, essas redes também apresentam desafios. Entre os principais, destacam-se a limitação de alcance, a suscetibilidade a interferências eletromagnéticas, como a diafonia e a dependência de equipamentos ativos, como switches e hubs, os quais demandam alimentação elétrica, a figura 2.1.2 apresenta um Switch HP de 24 portas. Como apontam Carvalho e Addabe (2016), “as redes locais metálicas tradicionais requerem equipamentos ativos, como switches e hubs, que necessitam de alimentação elétrica para funcionar adequadamente, o que pode representar um desafio em termos de infraestrutura e consumo energético”.



Figura 2 – Switch 24 portas HP

Fonte: CARVALHO; ADDABE (2016).

Apesar dessas limitações, as LANs metálicas tradicionais continuam sendo amplamente adotadas, sobretudo em ambientes onde a implementação de fibras ópticas representa um custo elevado ou não se justifica tecnicamente. O contínuo desenvolvimento dessas redes tem

buscado não apenas melhorar a eficiência e reduzir os custos operacionais, mas também favorecer a integração com novas tecnologias emergentes, como as redes sem fio e a Internet das Coisas (IoT). Assim, elas seguem desempenhando um papel relevante no contexto atual das telecomunicações. Como afirmam Carvalho e Addabe (2016), “mesmo com o avanço das tecnologias ópticas, as LANs metálicas continuam sendo amplamente utilizadas, especialmente em locais onde a instalação de fibras ópticas é economicamente inviável ou tecnicamente desnecessária”.

2.2 Fibras Ópticas

As fibras ópticas, amplamente empregadas nos sistemas de telecomunicações, representam uma das tecnologias mais inovadoras e transformadoras no contexto da transmissão de informações. Constituídas por filamentos extremamente finos de vidro ou plástico, essas fibras são capazes de transmitir dados por meio de pulsos de luz, utilizando o princípio da reflexão interna total. Esse fenômeno ocorre quando a luz incide em um ângulo específico na interface entre o núcleo e o revestimento da fibra, sendo totalmente refletido de volta ao núcleo, o que possibilita a propagação da luz por longas distâncias com perdas mínimas de sinal.

Nesse sentido, Silva (2018) destaca que as fibras ópticas são formadas por um núcleo e um revestimento cuja interação permite a transmissão eficiente dos dados justamente por meio da reflexão interna total. Esse mecanismo é o responsável por conferir às fibras ópticas uma performance significativamente superior à dos cabos metálicos tradicionais, sobretudo no que diz respeito à taxa de transmissão e à baixa atenuação do sinal, a figura 2.2.1 mostra a estrutura física da fibra óptica.

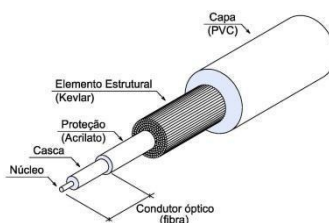


Figura 3 – Estrutura de uma Fibra Óptica

Fonte: SILVA (2018).

A definição de fibra óptica ampliou-se significativamente com o avanço da tecnologia, passando a englobar diferentes tipos de fibras, como as monomodo e as multimodo, a figura 2.2.2 demonstra as características físicas dos dois tipos. Cada uma com aplicações específicas de acordo com as exigências de alcance e largura de banda. Conforme explica Silva (2018), as fibras monomodo são mais indicadas para transmissões em longas distâncias, devido à sua baixa dispersão, enquanto as fibras multimodo são geralmente utilizadas em aplicações locais, pois apresenta maior dispersão do sinal, o que limita seu alcance.

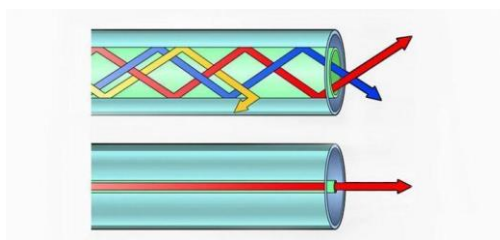


Figura 4 – Fibra Multimodo e Monomodo, respectivamente.

Fonte: <https://revistasegurancaeletronica.com.br/qual-a-diferenca-entre-fibra-monomodo-e-multimodo>

Historicamente, o desenvolvimento da fibra óptica foi impulsionado por uma série de descobertas científicas e avanços tecnológicos. A ideia de utilizar a luz como meio de comunicação remonta ao século XIX, quando Alexander Graham Bell inventou o fotofone, em 1880. Esse dispositivo permitia a transmissão de som por meio de feixes de luz. No entanto, devido às limitações técnicas da época, o projeto não teve continuidade prática (RIBEIRO; CAVALCANTE; SILVA, 2021).

Somente em 1966, os pesquisadores Charles Kuen Kao e George Hockham, trabalhando na Standard Telecommunication Laboratories, no Reino Unido, propuseram o uso da fibra de vidro para a transmissão de sinais ópticos com baixos níveis de atenuação. Essa proposta foi um marco no desenvolvimento da fibra óptica moderna, ao demonstrar que, com a purificação adequada do material, seria possível alcançar perdas inferiores a 20 dB por quilômetro, viabilizando seu uso em telecomunicações. Como destacam Ribeiro, Cavalcante e Silva (2021, p. 2), “foi apenas em 1966 que Charles Kuen Kao e George Hockham, trabalhando na Standard Telecommunication Laboratories, demonstraram que as fibras de vidro poderiam ser utilizadas na transmissão óptica, desde que apresentassem baixos níveis de perda óptica, em torno de 20 dB/km”.

Nos anos seguintes, esforços concentrados na melhoria da pureza do vidro e na precisão dos processos de fabricação resultaram em fibras com perdas ainda menores. Esses avanços tornaram a fibra óptica uma solução viável e eficiente para uma ampla gama de aplicações em redes de telecomunicações.

Durante as décadas de 1980 e 1990, a utilização de fibras ópticas se expandiu de forma acelerada, especialmente em redes de longa distância e na interligação de grandes centros de dados. Esse crescimento foi favorecido por importantes avanços tecnológicos, como a introdução dos amplificadores ópticos, em especial os de fibra dopada com érbio (EDFA), e das técnicas de multiplexação por divisão de comprimento de onda (WDM), que possibilitam a transmissão simultânea de múltiplos sinais de luz por uma única fibra. Tais inovações elevaram consideravelmente a capacidade de transmissão das redes ópticas, permitindo que essas superassem diversas limitações das redes baseadas em cabos metálicos, como a restrita largura de banda e a vulnerabilidade a interferências eletromagnéticas. De acordo com Lima, Barbosa e Santos (2021), foi justamente a introdução dos amplificadores EDFA e das tecnologias de multiplexação WDM que impulsionou de forma decisiva o avanço das redes ópticas nesse período, ao proporcionar um aumento expressivo da capacidade de transmissão e superar obstáculos técnicos enfrentados pelas redes metálicas tradicionais, como as interferências e as limitações de largura de banda.

Atualmente, as fibras ópticas não apenas dominam as infraestruturas de telecomunicações de longa distância, mas também vêm sendo amplamente adotadas em redes locais, sistemas de sensores, automação industrial e, inclusive, na transmissão de dados em ambientes industriais. O progresso contínuo nesta área tem ampliado ainda mais o escopo de aplicações das fibras ópticas, consolidando seu papel como a espinha dorsal da comunicação digital na contemporaneidade.

2.3 Redes FTTX

As redes FTTx, sigla que representa uma família de arquiteturas baseadas em fibra óptica, têm se destacado como uma das principais evoluções na infraestrutura de telecomunicações. O termo é utilizado como uma designação genérica para diferentes configurações de distribuição de fibra, como Fiber to the Home (FTTH), Fiber to the Building (FTTB), Fiber to the Curb (FTTC) e Fiber to the Desktop (FTTD), sendo esta última a abordagem central deste trabalho. A figura 2.3.1 demonstra a topologia das redes FTTx.

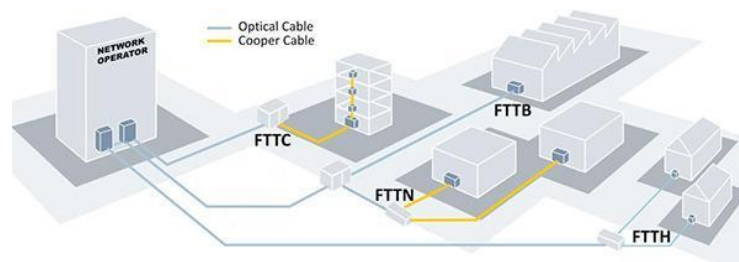


Figura 5 – Redes FTTx

Fonte: <https://medium.com/target-blog/tecnologia-ftth-fibra-optica-91d645116a5f>

Essas arquiteturas compartilham o princípio de levar a fibra óptica o mais próximo possível do usuário final, substituindo gradualmente os antigos cabos metálicos por uma infraestrutura mais moderna e eficiente. Nesse contexto, Rocha (2021, p. 14) ressalta que “as redes FTTx abrangem diversas arquiteturas onde a fibra óptica se aproxima do usuário final, sendo categorizadas como FTTH, FTTB, FTTC, entre outras”.

A principal vantagem das redes FTTx reside na capacidade de oferecer larguras de banda significativamente superiores, alcançando taxas de transmissão na ordem de gigabits por segundo. Além disso, essas redes apresentam maior confiabilidade e menores níveis de atenuação, especialmente quando comparadas a tecnologias legadas como DSL (Digital Subscriber Line) e HFC (Hybrid Fiber-Coaxial). O "X" na sigla FTTx indica o ponto de término da fibra: seja diretamente na residência do usuário (FTTH), em um edifício (FTTB), ou em pontos intermediários como calçadas ou ruas (FTTC). Cada uma dessas arquiteturas traz consigo diferentes desafios técnicos, custos de implantação e níveis de desempenho, mas todas convergem para o objetivo comum de otimizar a entrega de serviços de telecomunicação.

Nesse sentido, Silva (2022) observa que uma das principais vantagens das redes FTTx em relação às tecnologias baseadas em cobre é justamente a possibilidade de atingir múltiplos gigabits por segundo, com atenuações significativamente menores, tornando a transmissão de dados mais eficiente e estável.

O desenvolvimento das redes FTTx é impulsionado por uma crescente demanda por largura de banda, fenômeno diretamente associado à transformação digital vivenciada pela sociedade contemporânea e à popularização de serviços de internet de alta velocidade. Nesse contexto, Santos et al. (2020) destacam que o avanço da transformação digital tem intensificado

a necessidade por conexões mais rápidas e estáveis, o que exige uma infraestrutura de rede mais robusta, como as redes FTTx.

A evolução dessas redes teve início ainda na década de 1990, quando operadoras de telecomunicações começaram a perceber que as tecnologias baseadas em cabos de cobre não seriam suficientes para atender à demanda crescente por dados. Esse cenário tornou-se especialmente evidente com o aumento do consumo de serviços como streaming de vídeo, jogos online e a crescente dependência de conexões confiáveis para atividades comerciais e corporativas.

Inicialmente, a implantação da fibra óptica restringia-se aos backbones e às conexões de longa distância. No entanto, com a redução dos custos de produção e instalação das fibras ópticas, tornou-se viável economicamente estender essas conexões cada vez mais próximas dos usuários finais. A partir dos anos 2000, países como Japão e Coreia do Sul iniciaram as primeiras implementações em larga escala da tecnologia FTTH (Fiber to the Home), tornando-se, rapidamente, referências mundiais em velocidade e penetração de banda larga.

A expansão das redes FTTx seguiu em ritmo acelerado, impulsionada por estratégias nacionais de banda larga adotadas por diversos países com o objetivo de modernizar suas infraestruturas de telecomunicações e prepará-las para as exigências tecnológicas futuras. Segundo Almeida e Costa (2021), esse movimento tem sido essencial para o avanço da transformação digital global, ao fornecer a conectividade necessária para a implementação de soluções como cidades inteligentes, Internet das Coisas (IoT) e uma ampla gama de serviços digitais avançados.

2.4 Rede Óptica Passiva (PON LAN)

As Redes Ópticas Passivas (PON LAN) representam um avanço significativo na evolução das telecomunicações, ao introduzirem uma abordagem inovadora para a distribuição de dados em redes locais e metropolitanas. Essas redes utilizam fibra óptica para transmitir sinais de dados sem a necessidade de componentes eletrônicos ativos entre a central de distribuição e os usuários finais. Sua arquitetura, do tipo ponto-multiponto, permite que uma única fibra óptica parta da central e seja ramificada em diversos caminhos por meio de divisores ópticos passivos, como o apresentado na figura 2.4.1. Tal característica não apenas simplifica a infraestrutura como também proporciona maior eficiência energética. Isso ocorre porque a

maioria dos componentes utilizados não requer alimentação elétrica, o que contribui diretamente para a redução dos custos operacionais e promove práticas mais sustentáveis no setor de telecomunicações, conforme apontam Silva, Almeida e Souza (2022).

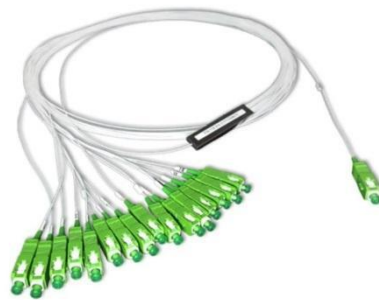


Figura 6: Splitter PLC 1x16 Divisor Passivo Fibra Óptica Conectorizado SC APC

Fonte: SILVA; ALMEIDA; SOUZA (2022).

Esses divisores ópticos têm a função de distribuir o sinal para diversos usuários simultaneamente, permitindo o compartilhamento da mesma infraestrutura sem que haja interferência ou perda significativa de qualidade no serviço prestado. A principal vantagem dessa arquitetura está na ausência de componentes ativos, como switches e repetidores, entre a central de distribuição e os pontos de terminação. Essa característica contribui não apenas para a redução dos custos operacionais e de manutenção, mas também para a simplificação do projeto da rede, tornando-a mais robusta e menos suscetível a falhas.

Outro destaque importante é o aspecto da sustentabilidade energética. A arquitetura PON LAN (*Passive Optical Network Local Area Network*) exige alimentação elétrica em pouquíssimos pontos da rede, o que resulta em um consumo de energia significativamente menor quando comparado a redes ópticas ativas, como pode ser observado na Figura 2.4.2.

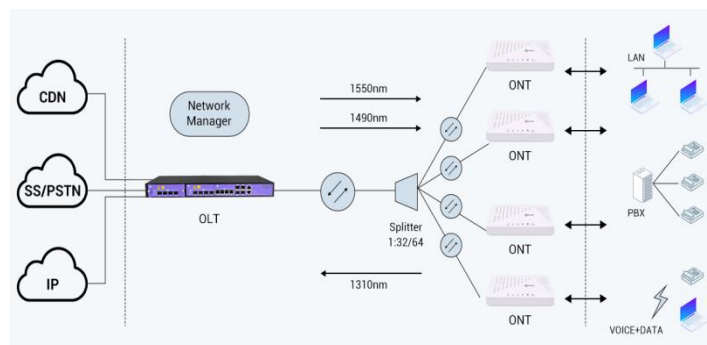


Figura 7 – Rede PON LAN

Fonte: OLIVEIRA (2019).

O surgimento das redes PON LAN remonta à década de 1990, em um contexto de crescente transformação digital. As infraestruturas baseadas em cabos de cobre já não eram capazes de atender adequadamente à demanda crescente por largura de banda. Diante desse cenário, a tecnologia PON foi desenvolvida como uma alternativa mais eficiente e escalável, capaz de oferecer serviços de banda larga a um número cada vez maior de usuários sem os custos elevados associados às redes com elementos ativos.

Nesse sentido, Oliveira (2019, p. 24) observa que “as redes PON surgiram na década de 1990 como uma solução para as limitações das redes baseadas em cobre, oferecendo maior largura de banda e menor custo de manutenção, por dispensarem elementos ativos na distribuição.” A citação reforça o papel estratégico da PON LAN como resposta às exigências de uma nova era tecnológica, em que eficiência, economia e sustentabilidade caminham juntas.

A primeira geração de redes ópticas passivas (PON), denominada APON (ATM Passive Optical Network), utilizava a tecnologia ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) como base para o transporte de dados, estabelecendo assim os alicerces para as gerações subsequentes desse tipo de rede. Com a evolução tecnológica, surgiu a BPON (*Broadband PON*), que ampliou a largura de banda disponível e passou a oferecer suporte a múltiplos serviços, como voz, vídeo e dados. O avanço mais expressivo, no entanto, foi alcançado com o desenvolvimento das tecnologias GPON (*Gigabit PON*) e EPON (*Ethernet PON*), que possibilitaram uma capacidade de transmissão significativamente maior, atingindo taxas da ordem de gigabits por segundo. Essas inovações consolidaram as redes PON como uma alternativa viável não apenas para aplicações residenciais, mas também para ambientes

corporativos e industriais, onde a alta velocidade e a confiabilidade na transmissão de dados são requisitos essenciais.

Nesse contexto, o sucesso das redes PON LAN está diretamente associado à sua capacidade de acompanhar o crescimento exponencial da demanda por conectividade em alta velocidade, característica marcante da atual era digital. À medida que os serviços de comunicação evoluem e o tráfego de dados aumenta, torna-se imperativo o uso de soluções de rede que aliem eficiência, escalabilidade e custo-benefício. De acordo com Silva (2020), as redes PON destacam-se justamente por essas qualidades, sendo eficientes na transmissão de dados e permitindo a ampliação da infraestrutura sem necessidade de investimentos excessivos.

A implementação dessas redes tem sido intensificada globalmente, com operadoras de telecomunicações incorporando a tecnologia PON em suas infraestruturas para a oferta de serviços integrados de internet, telefonia e televisão. Além disso, essas redes vêm desempenhando um papel estratégico no desenvolvimento da chamada “última milha”, que conecta o usuário final à rede principal. Com a contínua evolução tecnológica e a crescente demanda por conectividade, as Redes Ópticas Passivas estão consolidadas como uma peça-chave nas estratégias de expansão da infraestrutura digital, viabilizando o suporte às comunicações modernas e às novas aplicações que surgirão nos próximos anos. Como enfatiza Costa (2021, p. 27), “as redes ópticas passivas são vistas como uma solução sustentável e preparada para atender às demandas futuras das comunicações digitais, acompanhando o crescimento exponencial do tráfego de dados.”

2.4.1 Topologia e a Arquitetura das Redes PON

A topologia e a arquitetura das Redes Ópticas Passivas (PON) representam elementos essenciais para a compreensão de como essas redes operam na distribuição e gerenciamento da transmissão de dados em ambientes de telecomunicações. Sua estrutura é caracterizada por uma configuração ponto-multiponto, na qual uma única fibra óptica parte do Optical Line Terminal (OLT), localizado na central de distribuição da operadora, e se ramifica até alcançar diversos terminais de assinantes, denominados Optical Network Units (ONUs) ou Optical Network Terminals (ONTs), a figura 2.4.1.1 demonstra um equipamento (OLT).

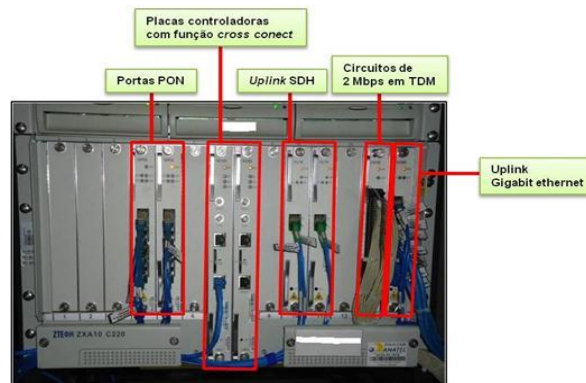


Figura 8: OLT fabricante ZTE modelo C220

Fonte: https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialgpontec/pagina_4.asp

Conforme explicado por Guedes e Ramos (2018, p. 3), “o terminal de linha óptica (OLT) é o equipamento localizado na central de operação da operadora, sendo responsável por gerenciar todo o tráfego da rede. O sinal óptico é dividido em múltiplos caminhos utilizando divisores passivos (splitters), permitindo uma distribuição eficiente sem a necessidade de equipamentos ativos entre a OLT e as ONUs/ONTs.” Esse modelo de arquitetura permite uma infraestrutura simplificada e de baixo custo operacional, mantendo a eficiência na entrega de serviços de alta velocidade aos usuários finais.

A Figura 2.4.1.1 ilustra um exemplo de terminal óptico do usuário (ONT), evidenciando a aplicação prática dessa arquitetura em ambientes residenciais ou corporativos.



Figura 9: Intelbras ONT WiFiber 121AC 2 Portas Gigabit - 4 Antenas

Fonte: OLIVEIRA (2019).

Esta configuração utiliza divisores ópticos passivos, também conhecidos como *splitters*, os quais distribuem o sinal óptico proveniente da OLT (Optical Line Terminal) em múltiplos caminhos, sem a necessidade de equipamentos eletrônicos ativos ao longo do

percurso. Essa característica confere simplicidade à infraestrutura, favorecendo a confiabilidade e a redução de custos operacionais.

A topologia ponto-multiponto, como ilustrada na Figura 2.4.1, mostra-se altamente eficaz na maximização do uso da fibra óptica, pois permite que uma única fibra atenda simultaneamente a diversos usuários. Essa abordagem resulta em uma diminuição significativa nos custos de instalação e manutenção da rede, além de simplificar sua estrutura física e lógica

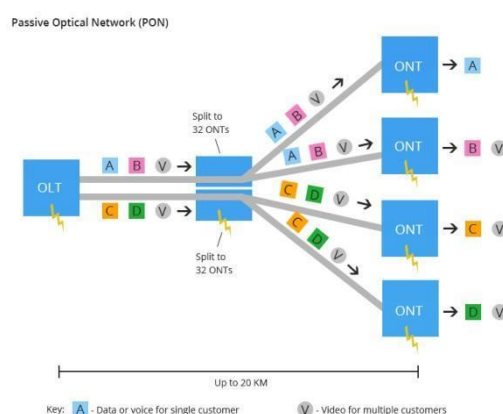


Figura 10 – Topologia da Rede PON LAN

Fonte: PEREIRA; SILVEIRA (2022).

A definição e a implementação da arquitetura PON (Passive Optical Network) têm acompanhado a transformação digital global e as demandas crescentes por conectividade de alta velocidade. Historicamente, as redes PON surgiram com a arquitetura APON (ATM PON), que posteriormente evoluiu para a BPON (Broadband PON), ampliando a capacidade de transmissão e o suporte a múltiplos serviços.

Com o tempo, a evolução tecnológica permitiu a transição para a GPON (Gigabit PON), que representou um salto significativo na taxa de transmissão, atingindo velocidades da ordem de gigabits por segundo. A introdução da EPON (Ethernet PON) também marcou um avanço importante, pois facilitou a integração das redes ópticas com as redes baseadas em Ethernet, oferecendo maior flexibilidade e compatibilidade.

Segundo Pereira e Silveira (2022, p. 4),

“As tecnologias PON evoluíram significativamente desde suas primeiras implementações. A transição de APON para BPON adicionou suporte a serviços de banda larga, enquanto o GPON e EPON trouxeram melhorias substanciais na velocidade e na eficiência, além de permitirem integração mais simples com redes baseadas em Ethernet, tornando-as altamente atraentes para operadoras que buscam soluções escaláveis e econômicas”.

A citação acima reforça que cada geração sucessiva de redes PON contribuiu para aumentar a eficiência e a capacidade das redes ópticas, adaptando-se continuamente às exigências do mercado, especialmente no que diz respeito à largura de banda e ao tráfego de dados. Dessa forma, a arquitetura PON permanece como uma solução robusta, escalável e econômica para redes de acesso de última milha, desempenhando papel central na ampliação do acesso à conectividade de qualidade.

3 CABEAMENTO METÁLICO VS. REDE POL LAN.

3.1 Comparativos de Infraestrutura

O comparativo entre a infraestrutura de redes cabeadas metálicas tradicionais e as redes baseadas na tecnologia Passive Optical LAN (POL) evidencia diferenças significativas em aspectos como desempenho, custo e escalabilidade. Esses fatores impactam diretamente a escolha de soluções para diferentes cenários de implementação, sobretudo em ambientes corporativos e de alta demanda por dados.

As redes cabeadas metálicas, predominantemente compostas por cabos de cobre, têm sido amplamente utilizadas ao longo do tempo devido à sua confiabilidade, padronização e interoperabilidade com diversos dispositivos e fabricantes. No entanto, enfrentam limitações técnicas à medida que cresce a demanda por serviços digitais de alta velocidade. Entre essas limitações, destacam-se a atenuação do sinal em longas distâncias, a interferência eletromagnética e a necessidade constante de equipamentos ativos, como switches e repetidores, para amplificação e regeneração do sinal. Esses fatores não apenas elevam a complexidade do sistema como também aumentam os custos de manutenção (CALHEIROS, 2023).

Além disso, a escalabilidade das redes metálicas é limitada. A adição de novos usuários exige reconfigurações significativas, aumento no número de cabos e equipamentos ativos, o que impacta diretamente no custo, na flexibilidade e na ocupação do espaço físico. Essas características tornam esse tipo de infraestrutura menos eficiente para ambientes dinâmicos ou em constante expansão.

Em contrapartida, as redes POL, que utilizam fibra óptica passiva em uma arquitetura ponto-multiponto, oferecem eficiência e desempenho superiores. Uma única fibra óptica é capaz de alocar diversos canais de comunicação simultaneamente, o que proporciona maior capacidade de transmissão e excelente relação custo-benefício na infraestrutura de telecomunicações. A tecnologia de fibra óptica permite transmissões em altíssimas velocidades, atingindo até terabits por segundo em condições de laboratório, com perdas mínimas de sinal e imunidade quase total à interferência eletromagnética, características ideais para ambientes de alta densidade de dados.

Outro diferencial relevante da POL é sua simplicidade na expansão da rede. A adição de novos usuários pode ser feita com impacto mínimo na infraestrutura existente, graças ao uso de divisores ópticos passivos, que distribuem o sinal de forma eficiente sem necessidade de energia elétrica adicional. Isso também contribui para uma operação mais sustentável, pois essas redes consomem menos energia e ocupam menos espaço físico, aspectos cruciais em grandes instalações ou em projetos com foco em eficiência energética.

Dessa forma, embora as redes cabeadas metálicas ainda sejam utilizadas em determinados contextos, observa-se que as redes POL representam uma solução mais moderna, escalável e econômica, especialmente em cenários que exigem alta capacidade de transmissão e flexibilidade na expansão da infraestrutura. A Figura 3.1.1, a seguir, apresenta um comparativo visual entre as duas tecnologias abordadas.

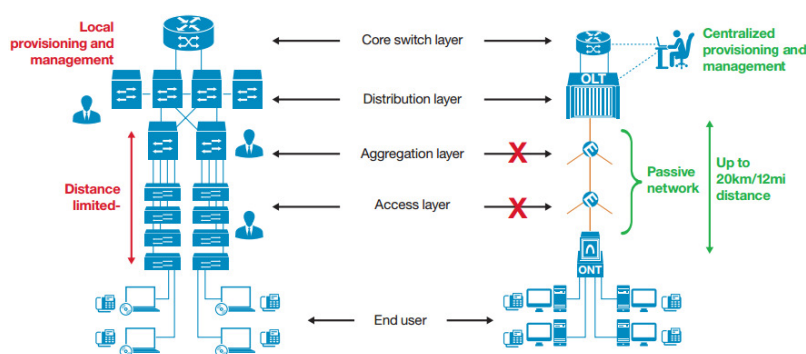


Figura 11 – Comparativo entre Rede LAN Metálica e Rede PON LAN

Fonte: <https://www.entelco.com.br/blog/fith-e-pon-implementacao-alternativa-as-rede-lan/?srsltid=AfmBOoqYVK1zm9Urn-9Q8koJFKOscv7NJrW4nzqybxOhB3G2V45trg1e>

3.2 Comparativos Operacionais

O comparativo operacional entre redes cabeadas metálicas e redes Passive Optical LAN (POL) evidencia diferenças significativas na forma como essas tecnologias são gerenciadas e mantidas no cotidiano das infraestruturas de rede.

As redes cabeadas metálicas, baseadas na tecnologia de cabos de cobre, exigem uma operação que envolve a gestão ativa de switches, roteadores e repetidores, além de um monitoramento contínuo para assegurar a qualidade do sinal transmitido. Isso ocorre porque, nessas redes, a atenuação do sinal tende a aumentar proporcionalmente à distância entre os

dispositivos, o que demanda o uso de amplificadores ou repetidores, fatores que elevam tanto os custos quanto a complexidade da manutenção.

Outro desafio inerente às redes metálicas é a suscetibilidade à interferência eletromagnética, especialmente em ambientes com grande concentração de equipamentos elétricos, o que pode comprometer diretamente a estabilidade e a velocidade da rede. Além disso, esse tipo de rede apresenta um consumo energético mais elevado, já que os equipamentos ativos devem ser alimentados continuamente para garantir o funcionamento adequado. A manutenção, os reparos e a expansão da infraestrutura também tendem a ser mais complexos, pois exigem intervenções físicas que, muitas vezes, interrompem o funcionamento da rede.

Conforme Silva (2022), redes cabeadas metálicas, como a Ethernet, demandam constante gerenciamento e supervisão de seus componentes ativos devido à atenuação do sinal e à vulnerabilidade a interferências, o que acarreta maior custo e dificuldade operacional. Complementando essa visão, Santos (2021) destaca que o alto consumo energético e a complexidade nas manutenções e expansões são aspectos críticos dessa tecnologia.

Em contrapartida, as redes POL, que utilizam fibra óptica em uma arquitetura passiva, proporcionam uma operação mais simplificada e eficiente. Uma das principais vantagens operacionais dessa abordagem está na eliminação de diversos equipamentos ativos intermediários, como switches e repetidores, o que reduz consideravelmente o consumo de energia e os pontos potenciais de falha.

Segundo Oliveira e Costa (2023), as redes Passive Optical LAN se destacam justamente por eliminarem a necessidade de equipamentos intermediários ativos, o que resulta não apenas em menor consumo energético, mas também em maior confiabilidade operacional. A fibra óptica, além disso, apresenta imunidade a interferências eletromagnéticas e perda de sinal mínima mesmo em grandes distâncias, permitindo uma operação mais estável e com menor necessidade de intervenções técnicas.

A manutenção e o gerenciamento das redes POL são, em geral, menos exigentes, já que a arquitetura passiva demanda menos ajustes e monitoramento contínuo, se comparada às redes cabeadas metálicas. Outro aspecto relevante é a escalabilidade: a estrutura da POL permite a adição rápida de novos usuários ou dispositivos com impacto mínimo na infraestrutura existente. Nesse sentido, conforme observa Machado (2019), a robustez e

escalabilidade das redes POL as tornam uma alternativa vantajosa para ambientes que requerem confiabilidade e baixo custo operacional.

Dessa forma, no que se refere à operação e gerenciamento, o baixo consumo energético, a facilidade de expansão e a confiabilidade da rede consolidam a POL como uma escolha estratégica em cenários que exigem infraestrutura eficiente, resiliente e de fácil manutenção.

4 ESTUDO DE CASO

Este estudo de caso apresenta dois projetos de cabeamento estruturado desenvolvidos para um edifício comercial composto por térreo e quatro andares superiores. O objetivo é realizar um comparativo entre uma rede LAN tradicional baseada em cabos metálicos CAT6 e uma rede baseada na tecnologia PON (Passive Optical Network), considerando aspectos como topologias lógica e física, infraestrutura, materiais, custo total de propriedade (TCO) e operacionalização.

4.1 Escopos do Projeto

O projeto contempla um edifício comercial com a seguinte estrutura:

- 1 andar térreo + 4 andares superiores;
- Ambientes diversos, incluindo salas comerciais, recepção, secretaria, administração, depósitos e banheiros.

4.2 Normas e Padrões Técnicos Adotados

Para o desenvolvimento do projeto, foram seguidos os seguintes padrões técnicos:

- **TIA/EIA-568-C:** Cabeamento estruturado;
- **TIA/EIA-569-C:** Caminhos e espaços para cabeamento;
- **TIA/EIA-606-B:** Administração do sistema de cabeamento;
- **TIA/EIA-607-B:** Aterramento e equipotencialização;
- **ABNT NBR 14565:2020:** Cabeamento estruturado para edifícios comerciais.

4.3 Projeto 1: Rede LAN Tradicional com Cabeamento CAT6

- **Topologia:** Estrela Hierárquica com MDF(Rack principal) no térreo e IDFs(Rack Menores) nos andares superiores;
- **Backbone:** UTP CAT6 entre os racks;
- **Pontos estimados:** 202 pontos de rede;
- **Equipamentos:** 1 rack de 24U, 4 racks de 14U 5 switches gerenciáveis de 24 portas, patch panels, canaletas e patch cords;

- Com MDF no térreo e IDFs nos andares superiores
- **Distância máxima por ponto:** 100 metros.
- **Serviços:** Suporte a dados, voz e vídeo.

4.4 Projeto 2: Rede PON LAN com Fibra Óptica (GPON/XPON)

- **Topologia:** Ponto-multiponto, com OLT centralizada no térreo;
- **Backbone:** Fibra óptica monomodo;
- **Pontos estimados:** 49 ONTs distribuídos pelo edifício;
- **Equipamentos:** 1 OLT com 8 portas, 4 splitters, cabos drop, ONTs e patch cords ópticos;
- **Serviços:** Suporte a dados, voz e vídeo.

4.5 Comparativo Técnico e de TCO

Critério	Rede LAN CAT6	Rede PON LAN
Infraestrutura vertical	Alta (cabos por andar)	Reduzida (fibra centralizada)
Consumo elétrico	Elevado (switches por andar)	Muito baixo (somente OLT)
Espaço ocupado	Médio a alto	Baixo
Custo inicial	Moderado	Mais alto
Custo de manutenção	Médio	Baixo
Capacidade de banda	1 Gbps por ponto	2,5 Gbps por ONT (GPON)
Escalabilidade	Limitada	Alta (até 64 ONTs por porta)
TCO em 5 anos	Alto	Baixo

Tabela 2: Comparativo Técnico e de TCO

4.6 Detalhamento: Rede LAN Tradicional com Cabeamento CAT6

4.6.1 Planta – Andar Térreo

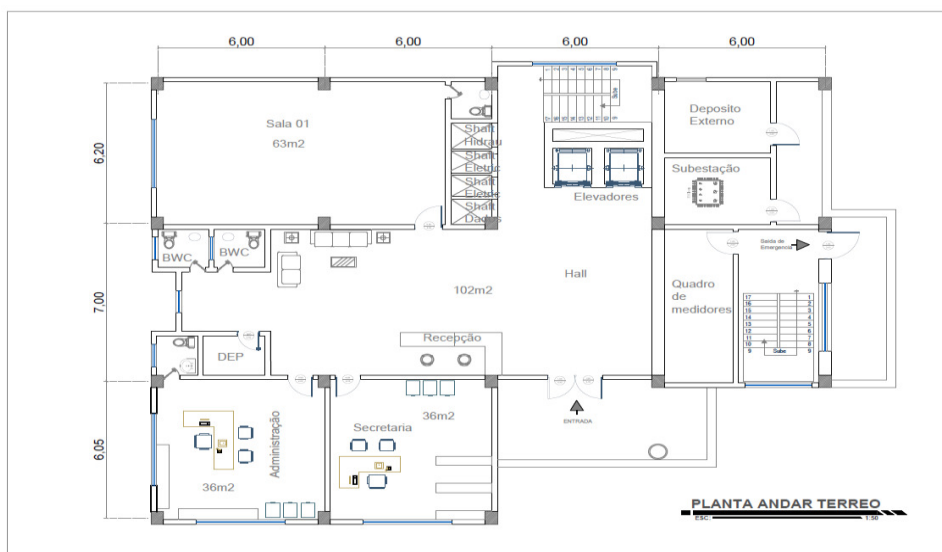


Figura 12 – Planta andar térreo rede metálica.

Materiais e Equipamentos:

Item	Quantidade Aproximada	Observações
Cabo UTP CAT6 (305m)	3 caixas	100% cobre, certificado
Tomadas RJ45 CAT6	34 unidades	Keystones padrão 180° ou 90°
Patch Panel CAT6 (24 portas)	1 unidade	Um por rack
Rack de piso 19" (20U)	1 unidade	Instalado no térreo
Patch cords CAT6 (0,5m e 2m)	68 unidades	Dois por ponto
Switch 24 portas gerenciável	1 unidade	Com PoE, se necessário
Organizadores de cabos	2 conjuntos	Horizontais/verticais
Canaletas/dutos/eletrocalhas	200 metros	Para todo o térreo
Etiquetas e identificação	1 kit completo	Marcação de pontos e painéis
No-break 1,5kVA	1 unidade	Proteção dos switches
Certificação de rede	34 pontos (opcional)	Equipamento equivalente

Tabela 3: Materiais e Equipamentos

Distribuição de Pontos de Rede:

Ambiente	Pontos RJ45
Sala 01	12
Depósito Externo	2
Recepção/Hall	4
Administração	8
Secretaria	8
Total	34

Tabela 4: Distribuição de Pontos de Rede

4.6.2 Planta – Andares Superiores (4 andares)

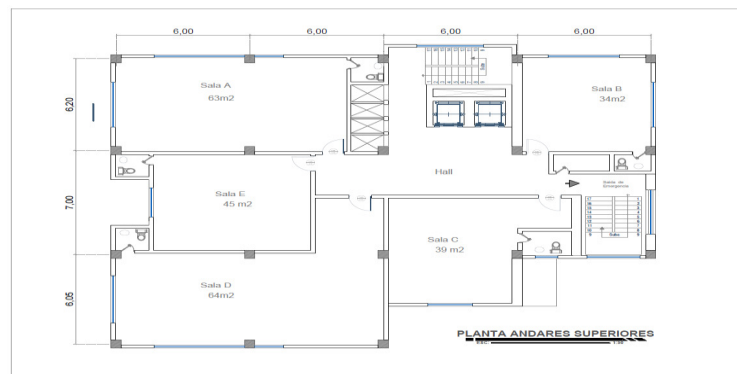


Figura 13 – Planta andares Superiores rede metálica.

Materiais e Equipamentos (por andar e total):

Item	Quantidade por Andar	Total (4 andares)	Observações
Cabo UTP CAT6 (305m)	3 caixas	12 caixas	100% cobre
Tomadas RJ45 CAT6	42 unidades	168 unidades	Keystones padrão 180°
Patch Panel CAT6 (24p)	1 unidade	4 unidades	Um por rack
Rack de piso 19" (20U)	1 unidade	4 unidades	Um por andar
Patch cords CAT6	84 unidades	336 unidades	Dois por ponto
Switch 24 portas gerenciável	1 unidade	4 unidades	Um por andar

Item	Quantidade por Andar	Total (4 andares)	Observações
Organizadores de cabos	2 conjuntos	10 conjuntos	Horizontais e verticais
Canaletas/dutos/eletrocalhas	200 metros	800 metros	Distribuídos por todos os andares
Etiquetas e identificação	1 kit completo	Marcação de pontos e painéis	Para toda a instalação
No-break 1,5kVA	1 unidade	4 unidades	Proteção dos switches
Certificação de rede	42 pontos	168 pontos	Opcional, com Fluke ou similar

Tabela 5: Materiais e Equipamentos (por andar e total)

Distribuição por Ambiente (por andar):

Ambiente	Pontos RJ45	Total (4 andares)
Sala A	12	48
Sala B	4	16
Sala C	4	16
Sala D	12	48
Sala E	8	32
Hall	2	8
Total	42	168

Tabela 6: Distribuição por Ambiente (por andar)

4.7 Detalhamento: Rede PON LAN com Fibra Óptica

4.7.1 Planta – Andar Térreo

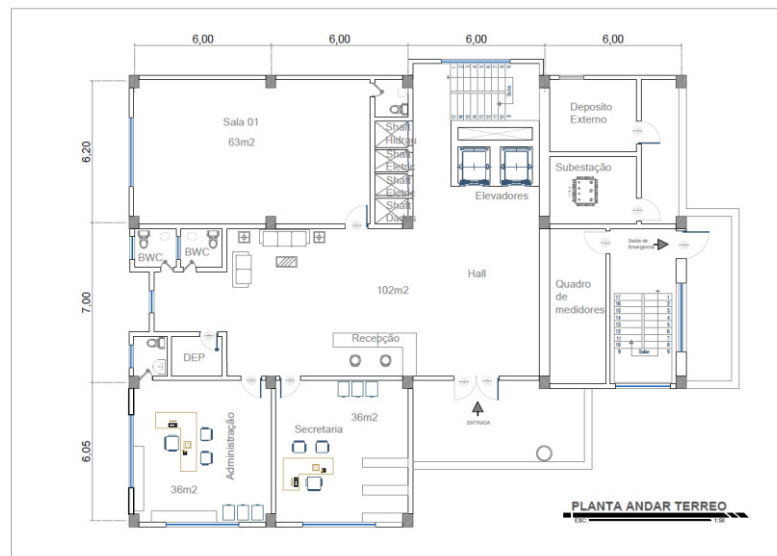


Figura 14 – Planta andar térreo rede PON LAN.

Materiais e Equipamentos:

Item	Quantidade	Observações
Fibra óptica monomodo G.652	200 metros	Bobina de 2 km para o projeto
OLT (4 portas GPON)	1 unidade	Suporte para até 256 ONTs
Splitter óptico 1:16	1 unidade	Instalado no térreo
ONTs com 4 portas RJ45	11 unidades	Distribuídas conforme ambientes
Caixa de emenda óptica (CEO)	1 unidade	Para distribuição
Racks pequenos	1 unidade	Para instalação de ONTs
No-break 1kVA	2 unidades	Para OLT e rack
No-break 1,5kVA	1 unidade	Proteção adicional

Tabela 7: Materiais e Equipamentos

Distribuição de Pontos por Ambiente:

Ambiente	ONTs	Pontos RJ45
Sala 01	3	12
Depósito Externo	1	4
Recepção/Hall	1	4

Ambiente	ONTs	Pontos RJ45
Administração	2	8
Secretaria	2	8
Total	11	36

Tabela 8: Distribuição de Pontos por Ambiente

4.7.2 Planta – Andares Superiores (4 andares)

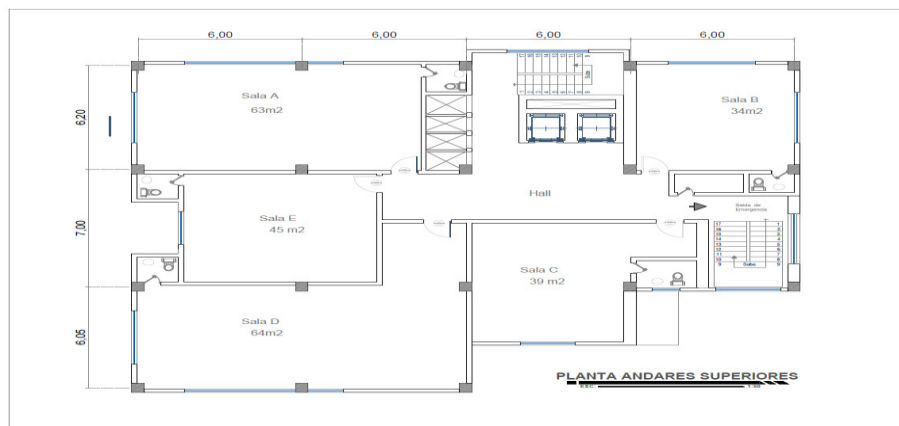


Figura 15 – Planta andares Superiores rede PON LAN.

Materiais e Equipamentos:

Item	Quantidade por Andar	Total	Observações
Fibra óptica monomodo G.652	200 metros	800 metros	Da bobina de 2 km
Splitter óptico 1:16	1 unidade	4 unidades	Um por andar
ONTs com 4 portas RJ45	10 unidades	40 unidades	Distribuídas conforme ambientes
Caixa de emenda óptica (CEO)	1 unidade	4 unidades	Uma por andar
Racks pequenos	1 unidade	4 unidades	Um por andar
No-break 1kVA	1 unidade	4 unidades	Um por rack
No-break 1,5kVA	1 unidade	4 unidades	Proteção das ONTs

Tabela 9: Materiais e Equipamentos

Distribuição de Pontos por Ambiente:

Ambiente	ONTs	Pontos RJ45	Total (4 andares)
Sala A	3	12	48
Sala B	1	4	8
Sala C	1	4	16
Sala D	2	8	32
Sala E	2	8	32
Hall	1	4	8
Total	40	40	160

Tabela 10: Distribuição de Pontos por Ambiente

Comparativo Financeiro — LAN Metálica x Rede POL

Item / Categoria	Rede LAN Metálica (CAT6)	Rede POL (GPON)
Cabeamento	Caixa De Cabo De Rede Cat6 Furukawa 100% Cobre Utp 305: R\$ 899,10 x 15 caixas = R\$ 13.486,50	Cabo Óptico Drop Flat 1FO 1km Next Fiber (1 km): R\$ 697 x 2 unidades = R\$ 1.394 1000 unidade de Conector De Campo Fast Click Apc Reutilizável: R\$ 3.300 Um Dio Interno Óptico Bandeja Deslizante 24f Sc/apc Intelbras: R\$ 777,92
Switches	Switch Gigapoe+ Cisco 2960s 48 Portas 48lpd-l E2 Sfp+ 10gb 370w: R\$ 4.254 x 5 unidades = R\$ 21.270	2 OLT Completa Huawei Ma5800-x2 1uplink+ 1 Gpuf 16 Portas C++ com uma para backup: R\$ 22.050 x 2 unidades = R\$ 44.100
Equipamentos de Acesso	Sem ONT (clientes ligados no Switches)	51 x ONU Huawei EchoLife EG8240H5 8w 4GE: R\$ 656,67 X 51 unidades = R\$ 33.490,17
Racks e Infraestrutura	Racks Piso 20u Intelbras: R\$ 1.067,90 x 5 = R\$ 5.339,5 Patch Panel Intelbras 24 Portas Impact Giga Cat6 Pp624: R\$ 649,90 x 5 unidades = R\$ 3.249,5 Patch Cord Impact Intelbras Giga Utp Cat6 4p Azul 1,5m: R\$ 31,25 x 101 unidades = R\$ 3.156,25 Tomada Rj45 Cat6 Tramontina Branco: R\$ 21,79 x 202 unidades R\$ 4.401,58 Protetor eletrônico Intelbras EPR 208+ com 8 tomadas para rack preto110v/220v: R\$ 94,41 x 5 unidades = R\$ 472,05	1 Racks Piso 20u Intelbras: R\$ 1.067,90 x 5 = R\$ 1.067,90 5 Cto Ftta Predial Completa 1x16 Apc Cap 16fo Branco Branco: R\$ 146,25 x 5 unidades = R\$ 731,25
Energia	Nobreak Intelbras ATTIV Preto 1500VA Bivolt: R\$ 988,00 x 5 unidades = R\$ 4.940	1 Nobreak Intelbras ATTIV Preto 1500VA Bivolt: R\$ 988,00
Instalação e mão de obra	R\$ 20.000	R\$ 30.000

Item / Categoria	Rede LAN Metálica (CAT6)	Rede POL (GPON)
Equipamentos+Instalação	R\$ 56.315,38 + 20.000 = R\$ 76.315,38	R\$ 85.849,24 + 30.000 = R\$ 105.849,24
Vida útil estimada	20 anos	20 anos
Consumo elétrico estimado	Consumo total em 20 anos (5 switches): 324.120kWh x 0,95 = R\$ 307.914 Consumo total em 20 anos (5 Nobreaks): 17.520 kWh x 0,95 = R\$ 16.644	Consumo total em 20 anos (1 OLT Completa Huawei Ma5800-x2): 35.040kWh x 0,95 = R\$ 33.288 Consumo total em 20 anos (51 ONU Huawei EchoLife EG8240H5 4GE): 3.575kWh x 0,95 = R\$ 67.907,52
Energia (20 anos)	R\$ 324.558	R\$ 101.195,52
Custo Total de Propriedade (TCO)	R\$ 76.315,38 + R\$ 324.558 = R\$ 400.873,38	R\$ 105.849,24 + R\$ 101.195,52 = R\$ 207.044,76

Tabela 11: Comparativo Financeiro — LAN Metálica x Rede POL

- * valores de ONT baseados em preços de mercado de modelos GPON de bom custo-benefício.
- * calculado com tarifa de energia residencial/comercial típica (estimada em R\$0,95/kWh) — considerando funcionamento contínuo dos equipamentos.
- * site de pesquisa para a cotação de preços/valores foram: www.mercadolivre.com.br e www.amazon.com.br.

4.8 Conclusões Técnica do Estudo de Caso

Ambas as soluções são viáveis e apresentam benefícios distintos. A rede LAN tradicional com cabeamento CAT6, embora consolidada, requer maior infraestrutura, apresenta maior consumo energético e custo de manutenção ao longo do tempo. Já a solução PON LAN exige um investimento inicial mais elevado em ativos ópticos, porém proporciona economia significativa no TCO, eficiência energética, maior escalabilidade e menor complexidade operacional sendo, portanto a alternativa mais adequada para edifícios comerciais modernos que demandam alto desempenho e flexibilidade.

5 TENDÊNCIAS E FUTURO DAS REDES POL LAN

5.1 Avanços Tecnológicos e padrões Emergentes

A evolução das redes Passive Optical LAN (POL) tem sido fortemente impulsionada pelos avanços tecnológicos e pelo surgimento de novos padrões, os quais vêm tornando essa tecnologia cada vez mais atrativa para diferentes ambientes, especialmente aqueles que exigem alta capacidade de transmissão de dados, escalabilidade e eficiência energética.

Com o crescimento exponencial do consumo de dados e a necessidade por redes mais robustas e de baixa latência, novas gerações de redes POL têm sido desenvolvidas para atender às demandas emergentes. Nesse contexto, destacam-se os padrões XG-PON (*10 Gigabit PON*) e NG-PON2 (*Next Generation PON 2*), que representam marcos significativos na evolução da tecnologia óptica. De acordo com Silva e Pereira (2022, p. 50), “esses padrões permitem a transmissão de dados em velocidades muito superiores às gerações anteriores, permitindo a transmissão de dados em velocidades acima dos 10Gbps, com suporte para diferentes serviços simultâneos em uma única infraestrutura”.

Esses avanços são fundamentais para atender à crescente demanda por aplicações que requerem grande largura de banda, como o streaming de vídeos em 4K e 8K, soluções de realidade aumentada e virtual, além de usos industriais sofisticados, como a Internet das Coisas (IoT) e redes de controle automatizado, a figura 5.1 nos mostra essa evolução.

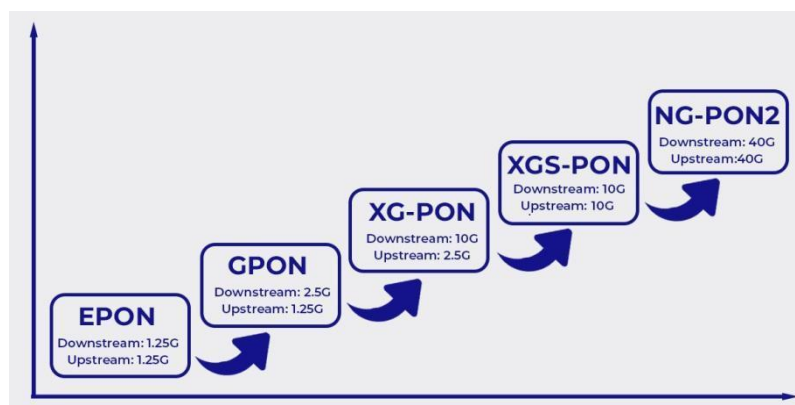


Figura 16 – Evolução da Tecnologia PON

Fonte: SILVA; PEREIRA (2022).

Além das melhorias em velocidade e capacidade, a tecnologia POL tem investido em aprimoramentos relacionados à eficiência e flexibilidade de sua arquitetura. O padrão NG-PON2, por exemplo, possibilita a multiplexação por comprimentos de onda, o que permite a transmissão de múltiplos canais sobre uma única fibra óptica. Essa característica otimiza significativamente o uso da infraestrutura instalada, resultando em maior densidade de usuários por fibra e em uma rede mais resiliente. A capacidade de alocação dinâmica de largura de banda e a rápida reconfiguração diante de falhas ou congestionamentos são exemplos práticos dessa flexibilidade.

Outra tendência que tem se consolidado é a integração entre as redes POL e a tecnologia 5G. Essa convergência cria um ecossistema de telecomunicações mais integrado, em que as infraestruturas ópticas e sem fio atuam de forma conjunta para oferecer conectividade de alto desempenho em larga escala. Nesse sentido, Silva e Andrade (2023) argumentam que as redes POL desempenham um papel essencial na transformação digital dos ambientes corporativos, pois combinam alta capacidade de transmissão com baixo consumo energético e facilitam a integração com tecnologias emergentes, como o 5G e a Internet das Coisas.

Dessa forma, é possível afirmar que as redes POL não apenas acompanham a rápida evolução das exigências de conectividade, mas também se consolidam como uma tecnologia estratégica para a construção das próximas gerações de redes de comunicação.

5.2 O Impacto das Comunicações no futuro

O impacto das redes Passive Optical LAN (POL) no futuro das comunicações revela-se significativo, sobretudo em um cenário global no qual a demanda por maior largura de banda, velocidade e conectividade contínua crescendo de forma exponencial. As redes POL, por sua arquitetura baseada em fibra óptica passiva e de alta eficiência, estão estrategicamente posicionadas para transformar a infraestrutura de comunicação, ao oferecer soluções mais escaláveis, robustas e economicamente viáveis.

Uma de suas principais vantagens reside na capacidade de atender às exigências de conectividade em larga escala, especialmente em contextos como cidades inteligentes, ambientes corporativos e campi universitários. Essas redes promovem uma infraestrutura de telecomunicações mais eficiente energeticamente, ao reduzirem a necessidade de dispositivos

ativos intermediários e simplificarem os processos de manutenção. Tal característica não apenas contribui para a redução dos custos operacionais, como também favorece o desenvolvimento sustentável, ao passo que atende à crescente demanda por soluções ecológicas no setor de comunicações.

Além disso, observa-se que, no horizonte tecnológico futuro, a convergência entre as redes POL e tecnologias emergentes, como o 5G, a inteligência artificial (IA) e a Internet das Coisas (IoT), será determinante para a reconfiguração do ecossistema das comunicações globais. Nesse contexto, as redes POL tendem a assumir o papel de espinha dorsal da conectividade em tempo real, viabilizando aplicações críticas em áreas como saúde, educação, indústria e transporte.

Com o avanço da IoT, por exemplo, espera-se que a POL seja essencial para permitir a comunicação eficiente entre milhões de dispositivos conectados, proporcionando a troca de grandes volumes de dados de forma rápida, segura e contínua. Isso permitirá a automação em larga escala e a implementação de sistemas inteligentes de controle e monitoramento. A resiliência característica dessas redes é marcada por alta capacidade de reconfiguração e resistência a falhas, e também assegura a continuidade dos serviços mesmo em contextos adversos, como situações de desastre natural.

Nesse sentido, conforme destacam Souza e Pereira (2022), as redes POL desempenham um papel estratégico na construção de cidades inteligentes e no avanço da Indústria 4.0, pois oferecem alta capacidade de transmissão, baixo consumo energético e notável resiliência que são atributos essenciais para sustentar a crescente expansão de dispositivos IoT e serviços críticos em tempo real.

Assim, pode-se afirmar que as redes POL ocuparão um lugar central na revolução digital em curso, moldando o futuro das comunicações e impulsionando inovações em múltiplos setores da sociedade.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou uma análise comparativa entre a rede local metálica ativa tradicional e a rede Passive Optical LAN (POL), destacando suas características técnicas, operacionais e econômicas, bem como avaliando sua aplicabilidade em ambientes corporativos por meio de um estudo de caso. A partir da fundamentação teórica e da aplicação prática desenvolvida, constatou-se que, embora as redes metálicas ainda possuam relevância em determinados contextos, as redes POL despontam como uma solução mais moderna, escalável e eficiente para as demandas atuais e futuras de conectividade.

No estudo de caso, a rede LAN tradicional demonstrou vantagens relacionadas à consolidação no mercado, à compatibilidade com equipamentos já existentes e a um custo inicial moderado. Entretanto, apresentou limitações significativas quanto ao consumo energético, à necessidade de maior quantidade de equipamentos ativos e à complexidade de manutenção. Por outro lado, a rede POL, apesar de demandar um investimento inicial mais elevado, mostrou-se superior em termos de capacidade de banda, redução do custo total de propriedade (TCO) no médio e longo prazo, eficiência energética e facilidade de expansão, confirmando sua viabilidade técnica e econômica para edifícios comerciais de médio e grande porte.

A pesquisa evidenciou também que a adoção da tecnologia POL vai além de ganhos imediatos de desempenho e custo. Trata-se de uma escolha estratégica que prepara a infraestrutura para suportar inovações tecnológicas, como a integração com redes 5G, Internet das Coisas (IoT) e aplicações de alta demanda de dados, incluindo realidade aumentada, sistemas de monitoramento em tempo real e ambientes de alta densidade de usuários. Esse alinhamento com tendências globais de telecomunicações reforça o papel da POL como elemento-chave para a transformação digital e para a construção de ambientes inteligentes e sustentáveis.

Portanto, conclui-se que a migração para arquiteturas baseadas em fibra óptica passiva, especialmente no formato POL, representa um passo importante rumo a infraestruturas de comunicação mais resilientes, sustentáveis e preparadas para o futuro. Apesar dos desafios iniciais relacionados à qualificação profissional e ao investimento em equipamentos ópticos, os benefícios técnicos e econômicos superam as barreiras de implantação, tornando essa

tecnologia altamente recomendável para projetos que visem alta performance, confiabilidade e escalabilidade no longo prazo.

REFERÊNCIAS:

- SANTOS, R. M. **Consumo Energético e Manutenção em Redes Legadas**. *Revista de Tecnologia em Redes*, v. 12, n. 4, p. 150-165, out./dez. 2021.
- SILVA, A. P.; SOUSA, E. F. **Comparativo Operacional de Redes: Metálicas vs. POL**. *Revista de Engenharia de Computação e Sistemas*, v. 20, n. 1, p. 60-75, jan./abr. 2023.
- CALHEIROS, Luciano da Fonseca. *Fibra óptica em redes de computadores: vantagens e desvantagens para utilização e aplicações em atividades empresariais*. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Redes de Computadores) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), Porto Velho. Disponível em: <http://repositorio.ifro.edu.br/handle/123456789/902>. Acesso em: 3 jun. 2025.
- PEREIRA, Gustavo Lacerda; SILVEIRA, Ricardo. **Análise e Estudo de Tecnologias PON (Passive Optical Network): GPON, EPON, XG-PON e XGS-PON**. ResearchGate, 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/366373473_Analise_e_Estudo_de_Tecnologias_PO_N_Passive_Optical_Network_Gpon_Epon_Xg-pon_e_Xgs-pon. Acesso em: 29 maio 2025.
- GUEDES, Anderson da Costa; RAMOS, Gabriel. **Redes ópticas passivas (PON): uma visão geral**. ResearchGate, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/323604437_Redes_opticas_passivas_PON_uma_vis_ao_geral. Acesso em: 29 maio 2025.
- COSTA, J. R. *Evolução das Redes Ópticas Passivas Frente à Expansão da Demanda por Conectividade*. 2021. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2021.
- SILVA, M. A. *Implementação de Redes PON para Atendimento de Alta Demanda de Dados*. 2020. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Telecomunicações) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.
- OLIVEIRA, L. C. de. *Estudo sobre redes ópticas passivas PON: uma alternativa eficiente para ambientes corporativos*. 2019. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Telecomunicações) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2019.
- SILVA, Bruno Henrique; ALMEIDA, Carlos Roberto; SOUZA, Fernanda Lopes. **Análise e Implementação de Rede Óptica Passiva (PON) em Cenário Empresarial**. ResearchGate, 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/364169732_Analise_e_Implementacao_de_Rede_O_PTICA_PASSIVA_PON_em_Cenario_Empresarial. Acesso em: 23 maio 2025.
- SILVA, Jefferson Soares da. **Estudo e projeto de uma rede óptica PON para provedor de internet de pequeno porte**. 2022. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/229349>. Acesso em: 23 maio 2025.

ROCHA, Jeferson de Souza. **Projeto de rede de acesso óptica FTTx para atendimento de clientes residenciais em área urbana**. 2021. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) — Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Bauru, Bauru, 2021. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/234361>. Acesso em: 23 maio 2025.

LIMA, J. R.; BARBOSA, L. F.; SANTOS, P. H. Evolução das redes ópticas: do surgimento das fibras ópticas aos sistemas de multiplexação WDM. *Journal of Integrated Systems*, São Paulo, v. 13, n. 2, p. 1-9, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jis/a/5FC9f4BtFqMB8CjvKzxR7TN/?lang=pt>. Acesso em: 22 maio 2025.

RIBEIRO, Gustavo da Silva; CAVALCANTE, Henrique Santos; SILVA, Fábio Henrique da. Fibras ópticas e seus impactos nas telecomunicações. *Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications*, v. 20, n. 1, p. 1-14, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jmoea/a/gmnWrsxQ9RnqvE5RX7iWvHJ/?lang=pt>. Acesso em: 22 maio 2025.

SILVA, Rafael Menezes da. **Projeto de rede óptica GPON para ambiente residencial de médio porte**. 2018. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Telecomunicações) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de São João da Boa Vista, São João da Boa Vista, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/157273>. Acesso em: 22 maio 2025.

CARVALHO, Rafael Nóbrega de; ADDABE, André Luís da Rocha. *Rede local passiva óptica versus rede local metálica ativa*. In: III SRST – Seminário de Redes e Sistemas de Telecomunicações. Instituto Nacional de Telecomunicações – INATEL, setembro de 2016. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/597361663/Rede-local-passiva-optica-versus-rede-local-metalica-ativa>. Acesso em: 20 maio 2025.

TORRES, Gabriel. *Redes de Computadores*. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2004.

QUINTÃO, Patrícia. *Tecnologia da Informação: Redes – Parte II*. Disponível em: <https://fr.scribd.com/document/641550386/Untitled>. Acesso em: 20 maio 2025.

SILVA, Marco Aurélio da. *Redes ópticas passivas e as redes LAN*. 2018. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Redes de Computadores e Teleinformática) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/20045>. Acesso em: 19 maio 2025.

TELECO. **Redes de Gerenciamento de Dados: Arquitetura de Redes**. Disponível em: https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialgmredes1/pagina_2.asp. Acesso em: 12 março 2026.

KLAUTAU, Sílvia Maria Costa. **Sílvia Maria Costa Klautau**. Disponível em: <https://www.gta.ufrj.br/grad/silvia/silvia.htm>. Acesso em: 12 março 2026.

RNP - REDE NACIONAL DE ENSINO E PESQUISA. **Fibras Ópticas: Tecnologia e Aplicações**. Disponível em: https://memoria.rnp.br/newsgen/0203/fibras_opticas.html. Acesso em: 12 março 2026.

TELECO. **Soluções de Fibra Óptica: PON e Redes Ópticas**. Disponível em: https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialsolfo1/pagina_1.asp. Acesso em: 12 março 2026.

REDES TECNOLOGIA. **FTTx: Entenda o que é FTTx**. Disponível em: <https://redestecnologia.com.br/fttx-entenda-o-que-e-fttx/>. Acesso em: 12 março 2026

DATA.COM. **Tecnologia PON para Redes Locais Corporativas**. Disponível em: <https://www.datacom.com.br/pt/blog/134/tecnologia-pon-para-redes-locais-corporativas>. Acesso em: 12 março 2026

FILHO, Esdras Antônio Meneses. **Dimensionamento de uma Rede de Fibra Óptica PON FTTH**. 2019. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/53e3b5a8-f2ce-4730-a915-8201a3a19dcb/content>. Acesso em: 12 março 2026.

TELECO. **Redes Ópticas PON: Arquitetura e Funcionamento**. Disponível em: https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialpontec1/pagina_2.asp. Acesso em: 12 março 2026.

TELECO. **Soluções de Fibra Óptica: Convergência e Aplicações**. Disponível em: https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialsolfo1/pagina_4.asp. Acesso em: 09 out. 2024.

REDES TECNOLOGIA. **Cabeamento Metálico, Óptico e RF: Diferenças e Aplicações**. Disponível em: <https://redestecnologia.com.br/cabeamento-metalico-optico-rf/>. Acesso em: 12 março 2026.

OMS ENGENHARIA. **Projetos de Cabeamento Estruturado: O Que Você Precisa Saber**. Disponível em: <https://omsengenharia.com.br/blog/cabeamento-estruturado-projetos/>. Acesso em: 12 março 2026.

CLARITY TREINAMENTOS. **Rede Óptica Passiva: Entenda o Funcionamento e as Vantagens**. Disponível em: <https://claritytreinamentos.com.br/rede-optica-passiva/>. Acesso em: 12 março 2026.



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
Campus João Pessoa - Código INEP: 25096850
Av. Primeiro de Maio, 720, Jaguaribe, CEP 58015-435, João Pessoa (PB)
CNPJ: 10.783.898/0002-56 - Telefone: (83) 3612.1200

Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

TCC VERSÃO FINAL

Assunto:	TCC VERSÃO FINAL
Assinado por:	Wellington Ferreira
Tipo do Documento:	Projeto
Situação:	Finalizado
Nível de Acesso:	Ostensivo (Público)
Tipo do Conferência:	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- Wellington Ferreira dos Santos, **ALUNO (20191430035) DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE TELECOMUNICAÇÕES - JOÃO PESSOA**, em 17/03/2026 06:33:23.

Este documento foi armazenado no SUAP em 17/03/2026. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1804639

Código de Autenticação: 0cae7711e3

