

ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE REDES DE FIBRA ÓPTICA: ASPECTOS TÉCNICOS E IMPLANTAÇÕES PARA A ENGENHARIA ELÉTRICA NAS TELECOMUNICAÇÕES

Luyan Lopes da Silva¹
Ítalo Rodrigo Monte Soares²
Tonny Kerley de Alencar Rodrigues³

RESUMO: O progresso das telecomunicações está intimamente vinculado à evolução de infraestruturas de transmissão de dados que sejam mais eficientes, seguras e sustentáveis. No presente cenário, a fibra óptica estabeleceu-se como a tecnologia mais contemporânea e confiável para satisfazer a crescente necessidade de conectividade em alta velocidade, fomentada por aplicações como a Internet das Coisas (IoT), a computação em nuvem, as redes 5G e os serviços de streaming. O presente estudo visa examinar os elementos técnicos e operacionais relacionados à implementação de redes ópticas, enfatizando os fundamentos físicos da transmissão de luz, as principais categorias de cabos e a importância da Engenharia Elétrica no planejamento, execução e manutenção dessas redes. A abordagem metodológica adotada fundamentou-se na realização de uma revisão da literatura e na análise comparativa de pesquisas recentes acerca da eficiência, sustentabilidade e escalabilidade das redes ópticas. Os resultados demonstram que a fibra óptica ultrapassa os sistemas metálicos convencionais em termos de capacidade de transmissão, resistência a interferências eletromagnéticas e eficiência energética, além de desempenhar um papel crucial na inclusão digital e no progresso sustentável das telecomunicações. Chega-se à conclusão de que a combinação da engenharia elétrica com a tecnologia óptica é essencial para assegurar o progresso constante da infraestrutura digital no Brasil, favorecendo a eficiência técnica, a sustentabilidade ambiental e a ampliação do acesso à informação.

7017

Palavras-Chave: Fibra óptica. Telecomunicações. engenharia elétrica. Redes ópticas.

I INTRODUÇÃO

A demanda crescente por conectividade de alta velocidade fez das telecomunicações um dos fundamentos do desenvolvimento econômico e social atual. A disseminação de serviços digitais, a ampliação da Internet das Coisas (IoT), o progresso das redes 5G e o emprego intensivo da computação em nuvem trouxeram novos desafios à infraestrutura de transmissão de dados, demandando respostas que sejam mais céleres, confiáveis e sustentáveis. Neste contexto, a tecnologia de fibra óptica apresenta-se como o meio físico mais eficaz para satisfazer

¹Graduando em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário Santo Agostinho, Teresina – Piauí.

²Docente Centro Universitário Santo Agostinho-UNIFSA.

³Docente Centro Universitário Santo Agostinho-UNIFSA.

tais exigências, proporcionando elevada largura de banda, atenuação extremamente baixa e resistência a interferências eletromagnéticas — atributos que a tornam superior aos sistemas metálicos tradicionais, como os cabos coaxiais e os de par trançado.

A execução de redes ópticas, por sua vez, abrange um conjunto intrincado de processos técnicos e operacionais que demandam a atuação de profissionais extremamente capacitados. O engenheiro eletricista exerce uma função essencial nesse procedimento, participando desde a elaboração do projeto, dimensionamento da rede e seleção dos componentes, até a implementação da instalação, junção de cabos e certificação das conexões. Ademais, a combinação da fibra óptica com sistemas elétricos, de automação e de monitoramento expande a atuação da Engenharia Elétrica no âmbito das telecomunicações, exigindo conhecimento sobre princípios ópticos, normativas técnicas e instrumentos de medição especializados.

A importância desse tema abrange igualmente as esferas social e ambiental, na medida em que a ampliação da fibra óptica favorece a democratização do acesso à internet e a diminuição das desigualdades digitais, particularmente em áreas periféricas e rurais. Sob a perspectiva ambiental, a utilização de cabos ópticos configura-se como uma opção mais sustentável quando comparada aos condutores metálicos, pois diminui o consumo energético e a geração de resíduos resultantes da manutenção.

7018

Neste contexto, o trabalho em questão visa examinar os aspectos técnicos e as repercussões da implementação de redes de fibra óptica, sublinhando a relevância da Engenharia Elétrica na idealização e preservação dessas infraestruturas. Procura-se entender não apenas os princípios físicos e os dispositivos empregados, mas igualmente os efeitos econômicos, sociais e ambientais relacionados a essa tecnologia. Dessa forma, a investigação reforça o papel da fibra óptica como um recurso essencial para o desenvolvimento sustentável das telecomunicações e para o progresso tecnológico da sociedade atual.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 FIBRAS ÓPTICAS

A fibra óptica fundamenta-se no princípio da reflexão total interna, o qual possibilita a transmissão da luz em filamentos de vidro ou plástico, com perda de sinal insignificante (Brasil et al., 2020). A sua estrutura fundamental consiste em uma região central, designada como núcleo, onde a luz é transmitida sob a forma de pulsos. Acima do núcleo, há uma segunda camada, denominada como casca, a qual possui como propósito a reflexão integral da luz e, por

último, uma camada de proteção, denominada revestimento. A configuração que abrange núcleo, casca e revestimento assegura uma atenuação extremamente reduzida, viabilizando transmissões em longas distâncias com eficácia superior (Costa et al., 2023).

Um dos aspectos mais destacados da tecnologia é a capacidade de multiplexação por divisão de comprimento de onda (WDM), a qual possibilita a transmissão de diversos sinais em uma única fibra, otimizando a infraestrutura e permitindo a escalabilidade em contextos urbanos e em redes de backbone (Vianna; Bueno, 2023; Farias Junior, 2023). Ademais, diversas arquiteturas, como FTTH (Fibra até a Residência), FTTB (Fibra até o Edifício) e FTTC (Fibra até a Sarjeta), influenciam o alcance e os custos de implementação, requerendo que o engenheiro eletricista selecione a topologia mais apropriada para cada contexto (Lopes et al., 2020).

Conforme Pinheiro (2017), o mecanismo de transmissão da luz na fibra óptica envolve a reflexão interna, que ocorre quando um feixe luminoso transita de um meio com maior densidade para um meio com menor densidade. Tal propagação está condicionada aos índices de refração e à angulação de incidência do material que constitui a fibra. É imprescindível que haja reflexão interna total para que os feixes de luz permaneçam contidos no núcleo. A luz é gerada por um dispositivo foto transmissor que está vinculado a uma fibra óptica, pela qual será conduzida, propagando-se por meio de reflexões sucessivas até atingir um dispositivo fotodetector.

Geralmente, um pelo de fibra apresenta uma espessura semelhante à de um fio de cabelo, com diâmetro frequentemente medido em micrômetros. Essa característica confere-lhe uma maior maleabilidade e, em decorrência disso, exige um cuidado especial durante seu manuseio (Moreira; Telocken; Rohden, 2021). Um dos fatores mais relevantes que confere à fibra uma superioridade em relação a qualquer outra.

Um meio de transmissão guiado é caracterizado pela imunidade à interferência eletromagnética, o que, por sua vez, resulta na proteção contra ruídos externos gerados por campos eletromagnéticos.

Em virtude das particularidades do material empregado e do meio de propagação das fibras ópticas, estas oferecem uma significativa vantagem em comparação aos meios de propagação elétricos. Conforme Ribeiro (1999), “sendo um meio altamente isolante, não é possível a indução de correntes na fibra óptica por quaisquer fontes que estiverem em suas proximidades.” Assim sendo, a transmissão é resistente a interferências eletromagnéticas externas. Essa imunidade permite a implementação em espaços compactos da interferência

eletromagnética, sem que haja a ocorrência de perdas no sinal. Em virtude dessa imunidade, a fibra óptica proporciona uma qualidade de transmissão superior em comparação aos enlaces de micro-ondas, assim como aos cabos coaxiais e guias de ondas.

Na efetivação, a instalação de redes ópticas requer a utilização de dispositivos de elevada precisão, como máquinas de fusão, medidores de potência óptica e OTDRs, os quais possibilitam identificar falhas e assegurar a qualidade da transmissão (Trujillo; Quishpe, 2022). Falhas na emenda ou curvaturas impróprias podem prejudicar o desempenho, o que torna essencial a formação contínua dos profissionais envolvidos (Meireles et al., 2023).

Um outro ponto importante refere-se à articulação das redes ópticas com sistemas de vigilância e automação. A utilização de sistemas OSS (Sistemas de Suporte Operacional) em conjunto com a inteligência artificial possibilita diagnósticos preditivos e uma maior resiliência nas redes. Neste contexto, a atuação do engenheiro eletricista abrange não apenas a instalação física, mas também a gestão integrada de telecomunicações e energia (Ferreira, 2025).

A sustentabilidade, também constitui um elemento fundamental na seleção da fibra óptica como infraestrutura de comunicação. Ao consumir menos energia e oferecer maior durabilidade em relação aos cabos metálicos, essa tecnologia favorece a diminuição do impacto ambiental, estando em consonância com as metas globais de desenvolvimento sustentável 7020 (Basso et al., 2023).

2.2 TIPOS DE FIBRA ÓPTICA

Conforme Pinheiro (2017), é viável identificar a variedade de tipos de fibras ópticas, que apresentam diferentes características de transmissão e utilização, as quais são obtidas de maneira alternativa em função do tipo de material e do perfil do índice de refração. As fibras ópticas são categoricamente divididas em dois tipos: multimodo e monomodo. Entretanto, as fibras multimodo estão divididas em dois tipos: índice de degrau e índice gradual.

O tipo multimodo pode ser caracterizado por diversos feixes de luz que se difundem em distintos trajetos pelo núcleo, com ângulos variados. As fibras multimodo apresentam um núcleo com diâmetro variando entre 50 µm e 62,5 µm. No modelo de fibra multimodo, o comprimento de onda, que corresponde à menor distância em que o ciclo se reproduz, varia de 850 nm a 1300 nm. (Pinheiro, 2017).

Trata-se de um tipo de cabo mais específico para redes de curta distância. O núcleo apresenta um diâmetro de cerca de 60 micrômetros, o que propicia diferentes modos de reflexão

da luz em seu interior. Nesse contexto, o sinal luminoso transmitido por este meio pode passar por várias reflexões consecutivas, fazendo com que o sinal de luz alcance o receptor em múltiplas ocasiões e em diferentes fases, momento em que este deverá reconhecer o feixe apropriado. Devido à distância do cabo e à quantidade significativa de curvas, essa questão torna-se ainda mais frequente (Pinheiro, 2017).

Segundo Quimis (2018), essa categoria de fibra é empregada em aplicações de capacidade e alcance reduzidos, sendo frequentemente utilizada para interconexões entre dispositivos dentro de um mesmo rack ou em intranets (redes privadas).

De modo geral, a extensão de um cabo multimodo é restrita a 2 km, considerando-se que essa distância pode variar conforme os parâmetros de transmissão dos transmissores ópticos. Em razão disso, trata-se de um tipo de cabo que apresenta um custo reduzido e maior facilidade de manuseio, considerando as dimensões de seu núcleo. A figura 5 representa a propagação de luz no interior do núcleo de uma fibra multimodo.

Conforme Quimis (2018), a fibra óptica monomodo se distingue por permitir que seu feixe luminoso se propague em uma única trajetória. Ela é projetada para transmitir um sinal alinhado ao eixo da fibra, sem a necessidade de reflexões, o que previne trajetórias de propagação distintas e resulta na redução da dispersão do impulso luminoso.

7021

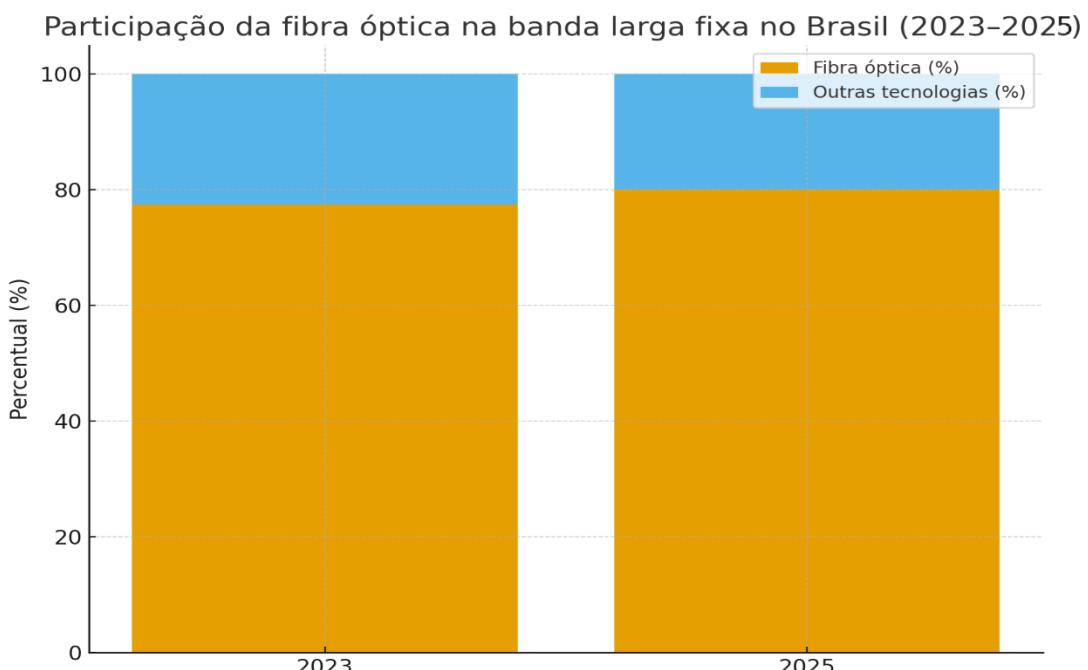
O cabo monomodo apresenta como característica um diâmetro do núcleo significativamente inferior ao do cabo multimodo, cuja medida típica é em torno de 10 micrômetros. Isso resulta na maneira como o feixe de luz é transmitido, uma vez que, em razão do diminuto diâmetro do núcleo, existe apenas um único modo de propagação. Portanto, essa modalidade de cabo possui ampla aplicação na transmissão em longas distâncias, considerando que sua atenuação é reduzida e sua taxa de transmissão é alta (Euzebio, 2019).

Em virtude do núcleo de diâmetro reduzido, exige-se um manuseio mais cuidadoso para esse tipo de fibra, razão pela qual conectores e outros dispositivos costumam ter um custo financeiro superior ao das fibras multimodo (Cortes; Moreira; Rodrigues, 2020).

De acordo com Pinheiro (2017), as fibras ópticas monomodo diferenciam-se das multimodo, essencialmente, pela sua capacidade de transmissão mais elevada e pelas suas dimensões. As medidas habituais variam de 2 μm a 10 μm para o núcleo e de 80 μm a 125 μm para a casca. Os insumos empregados em sua produção consistem em sílica pura e sílica dopada. Esse tipo de fibra foi projetado para funcionar na faixa de 1310 nm, embora também possa ser empregada na faixa de 1550 nm.

Uma considerável vantagem da fibra monomodo reside na capacidade de transmissão em extensas distâncias, podendo atingir até 400 km por meio de laser de alta intensidade. Além disso, essa tecnologia oferece a vantagem de possuir uma capacidade de transmissão de dados superior; no entanto, seu custo de produção é mais elevado em comparação à fibra multimodo (Quimis, 2018).

Gráfico 1 - Participação da fibra óptica na banda larga fixa no Brasil (2023–2025).



Fonte: Anatel/Teleco (2025).

O Gráfico acima mostra a fibra óptica já representa a maior parcela dos acessos de banda larga fixa no Brasil, com cerca de 77,4 % ($\approx 41,3$ milhões) em outubro/2023, enquanto o total de acessos em 2025 alcança $\sim 52,8$ milhões (incluindo todas as tecnologias).

2.3 TRANSMISSOR ÓPTICO

Os dispositivos emissores ópticos têm a função de transformar sinais elétricos em sinais ópticos que serão transmitidos pela fibra. Os transmissores ópticos tradicionais realizam a modulação da fonte óptica por meio da intensidade, por intermédio da variação da corrente elétrica aplicada ao gerador óptico (Tabini; Nunes, 1990).

Os dispositivos de iluminação mais frequentemente utilizados nos sistemas de transmissão de dados por fibra óptica são os LEDs (Diodos Emissores de Luz), uma vez que produzem luz invisível próxima à faixa do infravermelho. Seu funcionamento assemelha-se à

operação fundamental de um diodo convencional. Uma leve carga é exercida entre os seus terminais, permitindo que uma corrente reduzida transite pela conexão.

Existem duas categorias fundamentais de fontes de luz: os diodos emissores de luz e o diodo laser. A distinção reside no fato de que, nos LEDs, as recombinações ocorrem de maneira espontânea, ao passo que, no diodo laser (Amplificação da Luz por Emissão Estimulada de Radiação), estas são induzidas.

O Diodo Emissor de Luz efetua a transformação de sinais elétricos em sinais ópticos por meio do processo de fotogeração mediante recombinação espontânea. Os LEDs são empregados em sistemas de comunicação que demandam taxas de transferência inferiores a aproximadamente 100 a 200 Mbits/s. Devido às divergências estruturais existentes entre os LEDs e os LASERs, há distinções funcionais que devem ser levadas em conta ao selecionar a adoção de um desses dois componentes (Tabini; Nunes, 1990).

Os LEDs são mais simples, econômicos e confiáveis; no entanto, apresentam um espectro de luz gerada mais amplo, com uma emissão incoerente, além de uma eficiência inferior no acoplamento de luz na fibra e limitações na velocidade de modulação (Pereira, 2008).

O Diodo Laser efetua a transformação de sinais elétricos em sinais ópticos por meio do processo de emissão estimulada de luz. Devido às divergências estruturais entre LEDs e lasers, esses dispositivos apresentam variações funcionais que devem ser avaliadas ao se escolher a utilização de um deles (Tabini; Nunes, 1990). 7023

Os diodos laser, por sua vez, produzem uma radiação mais coerente, apresentando um espectro mais restrito e um feixe mais direcionado, além de potências superiores. Contudo, seu custo é superior ao dos LEDs (Keiser, 1991).

2.4 RECEPTOR ÓPTICO

Os fotodetectores, também conhecidos como receptores ópticos, têm a função de transformar os sinais ópticos recebidos da fibra em sinais elétricos. Os fotodetectores devem funcionar eficientemente em níveis ópticos de potência muito baixos, convertendo o sinal com um mínimo de distorção e ruído, para assegurar o máximo alcance viável. O ideal seria que os fotodetectores apresentassem o máximo alcance viável, funcionando.

nos níveis mais baixos de potência óptica, convertendo-a em eletricidade com o menor número possível de erros e de ruído (Keiser, 1991).

A eficiência de um receptor é avaliada por meio da análise da razão entre o sinal e o ruído. Esse fenômeno se deve ao fato de que a potência óptica recebida pode atingir valores da ordem de nanowatts, o que torna imprescindível a amplificação do sinal. Desse modo, a eficácia de um fotodetector está relacionada à sua aptidão para amplificar o sinal, sem ocasionar novo ruído nem intensificar aqueles que estão mesclados com o sinal (Keiser, 1991).

2.5 EQUIPAMENTOS AUXILIARES E PROCESSOS DE FUSÃO EM SISTEMAS ÓPTICOS

A implementação de redes ópticas requer, além do conhecimento teórico sobre a propagação da luz em materiais dielétricos, o emprego de dispositivos de alta precisão que são responsáveis pela preparação, medição e certificação da conexão óptica. Além dos equipamentos primários — transmissores e receptores —, múltiplos instrumentos auxiliares são essenciais para garantir a qualidade do sinal, a continuidade do núcleo da fibra e a conformidade com os padrões técnicos estabelecidos.

Nos equipamentos mais utilizados na engenharia de redes ópticas, sobressaem-se a máquina de fusão, o OTDR (Refletômetro de Domínio da Tempo Óptico), o medidor de potência óptica, a fonte de luz óptica, o cortador de precisão e as fibras de lançamento. Cada um desses dispositivos exerce uma função específica e complementar no processo de instalação, monitoramento e validação da rede.

7024

O aparelho de fusão é encarregado de unir as extremidades das fibras ópticas por meio da aplicação de calor de forma controlada, assegurando o correto alinhamento dos núcleos e reduzindo ao máximo as perdas de inserção. A fusão, quando executada de maneira apropriada, pode alcançar níveis de perda inferiores a 0,1 dB por emenda, o que é considerado excelente de acordo com os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 16869-2 (2024). Os modelos contemporâneos, como o ELOIK ALK-88A e o Komshine FX39, proporcionam alinhamento automático por núcleo, garantindo precisão e agilidade, com ciclos de fusão médios variando de 6 a 8 segundos e um tempo de aquecimento de 15 a 20 segundos — características apropriadas para implementações em larga escala.

O OTDR representa um dos aparelhos mais significativos na etapa de testes. O dispositivo emite pulsos luminosos e examina as reflexões que regressam ao equipamento, produzindo um gráfico denominado traço OTDR, o qual revela a atenuação cumulativa, as reflexões provenientes de conectores e possíveis falhas ou curvaturas inadequadas. Tal análise é fundamental para reconhecer perdas específicas e assegurar que o enlace cumpra as exigências

de desempenho. A utilização do OTDR é imprescindível em procedimentos de certificação, de acordo com a NBR 16869-2, a qual estabelece a metodologia de teste bidirecional e a aplicação de fibras de lançamento para erradicar falhas de medição nas extremidades inicial e final.

Os medidores de potência óptica, denominados Power Meters, quando empregados em conjunto com fontes de luz óptica, têm como finalidade mensurar a potência recebida em um ponto específico da fibra. Essa mensuração possibilita a determinação da perda total do enlace (em decibéis), por meio da comparação entre os valores da potência transmitida e da potência recebida. Os comprimentos de onda mais frequentemente empregados são 1310 nm e 1550 nm, os quais se referem às janelas ópticas que apresentam menor atenuação na fibra monomodo, conforme as diretrizes da ITU-T G.652.

O cleaver de precisão, por sua vez, efetua o corte ideal na extremidade da fibra, garantindo que as superfícies permaneçam planas e com ângulo controlado. Tal procedimento é essencial para que a fusão térmica ocorra com qualidade e mínima perda. Após a fusão, a conexão é resguardada por manguitos termoencolhíveis, os quais asseguram a robustez mecânica e a proteção ambiental da emenda.

Por fim, as fibras de lançamento são empregadas como extensões temporárias entre o OTDR e o enlace em avaliação, possibilitando que o dispositivo estabilize a emissão de luz antes de realizar a medição da fibra efetiva. A utilização adequada dessas fibras previne interpretações equivocadas do traço OTDR, constituindo-se como um requisito para as certificações de conformidade técnica.

7025

Dessa forma, a coleção desses dispositivos integra o sistema instrumental essencial da engenharia óptica voltada para a implementação de redes, garantindo que o projeto esteja em conformidade com os padrões internacionais de qualidade e confiabilidade. A maestria nesses processos é essencial para o engenheiro eletricista, que necessita integrar saber teórico, experiência prática e análise metrológica no âmbito das telecomunicações contemporâneas.

2.5.2 Processos de fusão e testes

A fusão e os testes que se seguem constituem uma das fases mais fundamentais na implementação de redes de fibra óptica, uma vez que influenciam diretamente a qualidade da conexão, a integridade do sinal enviado e a durabilidade do sistema. Na presente etapa, o engenheiro eletricista e os técnicos qualificados devem implementar procedimentos padronizados, em conformidade com as diretrizes da ABNT NBR 16869-2 (2024) e das

recomendações ITU-T G.650, G.652 e G.657, as quais estabelecem parâmetros de desempenho, métodos de medição e limites máximos de perda.

O procedimento de fusão térmica envolve a combinação de duas fibras ópticas por meio do alinhamento exato dos núcleos e da utilização controlada de arco elétrico. Primeiramente, ambas as extremidades são tratadas com o cleaver de precisão, que efetua um corte reto e impecável, assegurando o paralelismo entre as superfícies. Posteriormente, as fibras são introduzidas na máquina de fusão, a qual efetua o alinhamento óptico — por casca (cladding alignment) ou por núcleo (core alignment) — mediante o uso de câmeras de alta resolução e micromovimentos automatizados.

Após o alinhamento, a máquina produz um arco elétrico de baixa intensidade, aquecendo o material até que se promova a fusão molecular das superfícies. Este procedimento estabelece uma emenda contínua entre os núcleos, reduzindo a perda de inserção e a refletância. Nos sistemas contemporâneos, as perdas toleráveis oscilam entre 0,02 e 0,10 dB por fusão, enquanto valores superiores a 0,3 dB sinalizam a necessidade de repetir o procedimento. Após a fusão, o ponto de união é reforçado por meio de um manguito termoencolhível, que resguarda a emenda contra tração mecânica, umidade e flutuações térmicas, de acordo com as normas da ABNT NBR 14566 (2018).

7026

Finalizadas as fusões, tem início a fase de testes e certificação do enlace óptico, fundamental para assegurar a conformidade do projeto com as normas técnicas e as especificações do cliente. A avaliação da perda óptica é efetuada utilizando uma fonte de luz estabilizada e um medidor de potência, possibilitando o cálculo da atenuação total (dB) entre dois pontos da rede. A norma ABNT NBR 16869-2 sugere a adoção dos comprimentos de onda de 1310 nm e 1550 nm para medições em fibras monomodo, além de 850 nm para fibras multimodo.

Adicionalmente, o teste com OTDR (Reflectometria no Domínio do Tempo Óptico) é utilizado para determinar a localização exata de falhas, emendas, conectores ou curvaturas excessivas ao longo do enlace. O OTDR emite pulsos de luz e capta os sinais retroespelhados, resultando em um gráfico denominado traço OTDR. Esse gráfico revela o perfil da fibra, apresentando declínios progressivos que simbolizam a perda devido ao espalhamento, além de picos que sinalizam descontinuidades ou reflexões. A análise deste gráfico possibilita identificar e mensurar perdas específicas, além de avaliar o comprimento total da fibra e a distância em relação a cada evento.

A análise bidirecional, conforme estipulado pela NBR 16869-2, é indicada para medições mais exatas, uma vez que elimina assimetrias nas perdas originadas pelas variações de acoplamento óptico nas extremidades. Esse procedimento demanda a utilização de fibras de lançamento e de recepção, as quais estabilizam a mensuração e minimizam incertezas.

Após realizar a coleta de dados, o engenheiro encarregado deve redigir o relatório de certificação óptica, que deve incluir a identificação de cada enlace, as medições obtidas, o método empregado, o número de série dos equipamentos, a calibração e a comparação com os limites normativos. Este documento serve como a fundamentação técnica para a validação da rede, sendo frequentemente requisitado em auditorias e em contratos de fornecimento de infraestrutura.

Por último, é fundamental destacar que o procedimento de fusão, assim como os ensaios de certificação, demandam uma formação técnica especializada, compreensão das propriedades ópticas dos materiais e competências práticas na manipulação de equipamentos de precisão. A compreensão dessas etapas possibilita ao engenheiro eletricista assegurar a integridade da rede, diminui os custos de manutenção e garante que a instalação esteja em conformidade com os padrões internacionais de desempenho e segurança.

7027

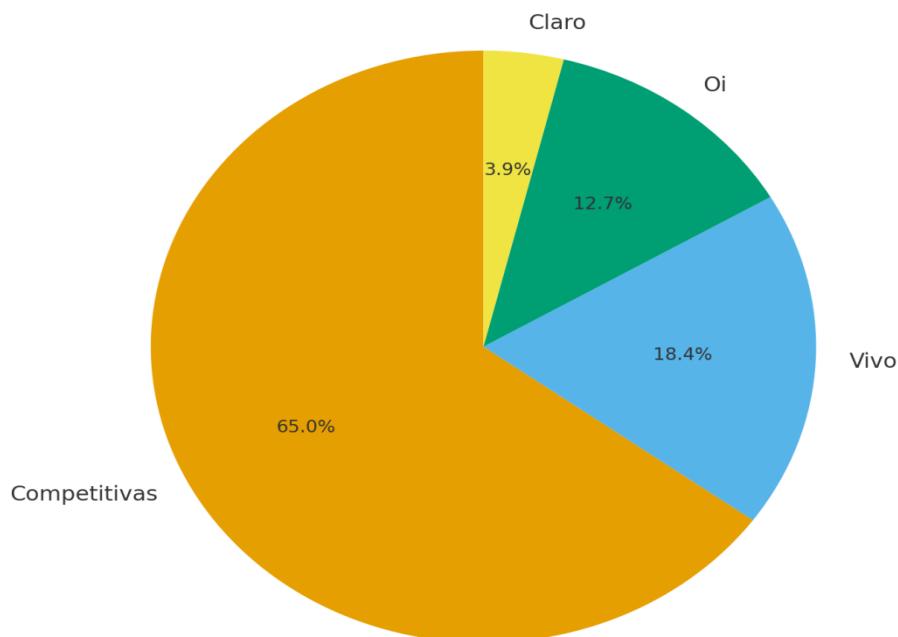
2.6 PADRÕES INTERNACIONAIS DE CERTIFICAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS APLICÁVEIS

A normalização técnica das redes de fibra óptica constitui um fator crucial para assegurar a interoperabilidade, a confiabilidade e a eficácia dos sistemas de telecomunicações. Com a expansão da infraestrutura óptica no Brasil e no mundo, aumenta igualmente a demanda por uma observância estrita das normas técnicas que regulam desde a produção de cabos e conectores até as práticas de instalação, testes e certificação dos enlaces. A observância dessas diretrizes garante que variados dispositivos e tecnologias operem de forma integrada, reduzindo falhas e garantindo a qualidade da transmissão de dados.

No cenário brasileiro, a solidificação do setor de telecomunicações tem sido amplamente fomentada pela ampliação das infraestruturas de fibra óptica, notadamente no sistema FTTH (Fiber to the Home). Conforme ilustra a Figura 2.2, o setor nacional é predominantemente controlado por operadoras competitivas — provedores regionais de pequeno e médio porte — que somam aproximadamente 63,6% das conexões em fibra óptica, enquanto as grandes operadoras, tais como Vivo, Oi e Claro, detêm participações de 18%, 12,4% e 3,8%, respectivamente.

Gráfico 2 - Participação das operadoras no mercado FTTH no Brasil (4º trimestre de 2023).

Participação das operadoras no mercado FTTH - Brasil



Fonte: Teleco (2025).

7028

Esse contexto demonstra que a variedade de fornecedores requer uma infraestrutura amplamente padronizada, de maneira que todos os elementos — abarcando cabos, conectores, até equipamentos de fusão e certificação — atendam a especificações comuns. Assim, as normas técnicas funcionam como ferramentas que garantem a interoperabilidade entre os diferentes fabricantes e asseguram que as redes preservem padrões de qualidade semelhantes, independentemente da procedência dos dispositivos.

Dentre as normas mais relevantes relacionadas ao cabeamento óptico no Brasil, sobressai a ABNT NBR 14565, a qual estabelece as exigências para o projeto, instalação e administração de sistemas de cabeamento estruturado, abarcando tanto os meios metálicos quanto os ópticos. Adicionalmente, a ABNT NBR 16869, divulgada em fragmentos entre 2022 e 2024, determina as diretrizes específicas referentes a sistemas de cabeamento óptico, tratando de topologias, métodos de medição e critérios para certificação. A seção 2 dessa norma (NBR 16869-2) é especialmente significativa, uma vez que detalha os métodos de teste, a aplicação de fibras de lançamento e recepção, bem como os critérios de aceitação das medições efetuadas com OTDR e medidores de potência óptica.

Normas complementares adicionais também desempenham uma função significativa no âmbito das telecomunicações. A norma ABNT NBR 14566 estabelece os critérios construtivos e de desempenho para cabos ópticos dielétricos empregados em aplicações subterrâneas e aéreas, enquanto a NBR 16028 descreve as propriedades das fibras monomodo de baixa sensibilidade à curvatura (BLI), essenciais para redes de acesso urbano. Ademais, a NBR 15214 aborda o compartilhamento de infraestrutura entre redes de energia elétrica e de telecomunicações, enquanto a NBR 5410, apesar de ser direcionada a instalações elétricas de baixa tensão, é comumente aplicada à alimentação de dispositivos ópticos e aos sistemas de energia utilizados nas telecomunicações.

No contexto global, sobressaem-se as diretrizes da União Internacional de Telecomunicações (UIT) e da Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC). As recomendações ITU-T G.652 e G.657 especificam as propriedades ópticas das fibras monomodo, ao passo que as normas IEC 60793 e IEC 60794 determinam os parâmetros de desempenho relacionados a fibras e cabos ópticos. A norma ISO/IEC 11801, amplamente utilizada em empreendimentos de cabeamento estruturado, proporciona uma referência internacional para a interoperabilidade entre redes tanto corporativas quanto residenciais. No contexto dos Estados Unidos, as normas TIA/EIA-568 e TIA-526-14A fazem parte do conjunto de diretrizes, oferecendo uma descrição dos procedimentos de teste e medição para sistemas de fibra óptica. 7029

A implementação prática dessas diretrizes é evidente, sobretudo, nas fases de avaliação e certificação dos cabos ópticos, procedimentos essenciais para atestar a conformidade técnica das instalações. Após a implementação da rede, são realizadas medições utilizando fontes de luz estabilizadas, medidores de potência e OTDRs, com o objetivo de verificar se as perdas de inserção e de retorno encontram-se dentro dos limites estabelecidos pelos padrões normativos. A certificação abrange a confecção de relatórios que incluem todas as medições efetuadas, os métodos utilizados e a comparação com os valores de referência. Esses relatórios são requeridos em auditorias técnicas e em contratos de suprimento, funcionando como asseguradores da qualidade da rede instalada.

De maneira concisa, as regulamentações tanto nacionais quanto internacionais garantem não somente a excelência técnica das redes ópticas, mas também estimulam a competitividade do setor, possibilitando que organizações de diversos tamanhos operem em conformidade com normas globais. Ao observar as diretrizes da ABNT, da ITU-T e da IEC, o engenheiro eletricista assegura que o sistema de telecomunicações manifeste elevada confiabilidade,

segurança na operação e desempenho ininterrupto, promovendo assim o progresso sustentável e tecnológico do país.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação dos resultados da literatura indica que a implementação de redes de fibra óptica constitui um avanço significativo para o setor de telecomunicações, gerando efeitos diretos na engenharia elétrica, na economia digital e na sustentabilidade. Múltiplas pesquisas convergem na conclusão de que a fibra óptica representa a alternativa mais eficaz para suprir a crescente solicitação de transmissão de dados, devido à sua reduzida atenuação, elevada capacidade de largura de banda e resistência a interferências externas (Brasil *et al.*, 2020; Costa *et al.*, 2023). Essa observação é corroborada por Pinheiro (2017), ao enfatizar que a reflexão interna total, princípio físico essencial da fibra óptica, assegura a preservação da qualidade do sinal, mesmo em trajetos extensos, ultrapassando significativamente os cabos metálicos convencionais.

Os achados também revelam que a adoção da fibra óptica está profundamente conectada ao desenvolvimento de tecnologias emergentes, tais como a Internet das Coisas (IoT) e as redes 5G, as quais demandam uma infraestrutura sólida e confiável. Conforme afirmam Vianna e Bueno (2023), a habilidade de multiplexação por divisão de comprimento de onda (WDM) constitui um dos principais diferenciais dessa tecnologia, uma vez que possibilita a transmissão simultânea de múltiplos sinais em uma única fibra, ampliando a largura de banda sem requerer a ampliação física da infraestrutura. Esse aspecto é essencial ao se avaliar a escalabilidade das redes, pois assegura a durabilidade dos investimentos e diminui os custos de expansão para operadoras e prestadores de serviço. 7030

Outro ponto abordado pela literatura é a influência das topologias de rede, como FTTH (Fibra até a Residência), FTTB (Fibra até o Prédio) e FTTC (Fibra até o Passeio). Lopes *et al.* (2020) evidenciam que tais variações influenciam de forma direta os custos e a extensão da implementação, sendo responsabilidade do engenheiro eletricista analisar a viabilidade técnica e econômica de cada modelo. Embora o FTTH proporcione uma qualidade de sinal superior ao usuário final, essa arquitetura requer um investimento inicial mais elevado. Por outro lado, o FTTC emerge como uma solução intermediária, equilibrando custos reduzidos com um desempenho satisfatório em regiões urbanas. Esses resultados corroboram a função estratégica da engenharia elétrica na seleção da topologia mais apropriada para cada contexto.

Em relação à operação e à manutenção, os resultados indicam que a implementação de redes ópticas requer um quadro de profissionais com elevado nível de especialização. De acordo com Trujillo e Quishpe (2022), dispositivos como OTDRs e equipamentos de fusão são essenciais para assegurar emendas corretas e detectar falhas de transmissão. Entretanto, erros humanos durante a instalação continuam a ser uma das principais causas de perdas em sistemas ópticos, o que enfatiza a importância da formação continuada dos profissionais. Meireles et al. (2023) acrescentam que a formação continuada dos engenheiros eletricistas e dos técnicos envolvidos é fundamental não apenas para garantir a qualidade do serviço, mas também para acompanhar a evolução das normas internacionais que regulam a certificação de redes.

Os efeitos sociais decorrentes da ampliação da fibra óptica também se destacaram nas investigações examinadas. Meireles e colaboradores (2023) destacam que a expansão da conectividade em alta velocidade favorece a inclusão digital, possibilitando o acesso da população a serviços relacionados à saúde, educação e comércio eletrônico. Esse fenômeno é substanciado por Ferreira (2025), que enfatiza a relevância da articulação entre redes ópticas e sistemas inteligentes fundamentados em inteligência artificial, os quais são aptos a efetuar diagnósticos preditivos e a aprimorar a resiliência das redes. Essa interação tecnológica não apenas incrementa a eficiência operacional, mas também potencializa os benefícios sociais da infraestrutura, pois garante uma maior estabilidade na prestação de serviços digitais.

7031

No âmbito econômico, Costa et al. (2023) assinalam que, apesar dos custos iniciais da implantação da fibra óptica serem superiores aos das opções convencionais, o retorno sobre o investimento se manifesta a médio prazo, devido à resistência dos cabos e à reduzida demanda por manutenção. Ademais, Ribeiro (1999) já havia destacado que a imunidade da fibra óptica a interferências eletromagnéticas dispensa a necessidade de correções recorrentes, o que resulta em uma redução significativa nos custos operacionais. Esse resultado demonstra que a fibra óptica, além de ser vantajosa do ponto de vista tecnológico e social, é igualmente sustentável em termos econômicos.

Outro resultado significativo diz respeito à viabilidade sustentável das redes ópticas. Basso et al. (2023) argumentam que a fibra óptica possui significativas vantagens ambientais em comparação com os cabos metálicos, uma vez que requer um consumo energético reduzido e oferece uma vida útil superior. A eficiência energética encontra-se alinhada às metas internacionais de diminuição das emissões de gases de efeito estufa, bem como aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável estabelecidos pela Organização das Nações Unidas. Ferreira

(2025) acrescenta que, ao se integrar a sistemas de gestão energética, a fibra óptica desempenha um papel na formação de cidades inteligentes, nas quais a infraestrutura de telecomunicações se conecta à eficiência energética e à automação urbana.

Sob a perspectiva estratégica, os resultados analisados demonstram que a função do engenheiro eletricista vai além da mera instalação física da rede. Conforme Lopes et al. (2020), a atuação deles é fundamental igualmente no planejamento e na interconexão com sistemas elétricos, assegurando não apenas a transmissão de dados com alta qualidade, mas também a conformidade com os requisitos de automação e energia. Nesse contexto, o engenheiro eletricista desempenha uma função abrangente, integrando saberes de telecomunicações, energia e administração sustentável para o adequado funcionamento das redes ópticas.

Dessa forma, a análise dos resultados possibilita a conclusão de que a fibra óptica não deve ser considerada apenas uma tecnologia de transmissão sofisticada, mas sim como uma infraestrutura fundamental para o progresso econômico, social e ambiental. Ao proporcionar maior eficácia, segurança e sustentabilidade, sua implementação em ampla escala reconfigura a função das telecomunicações no século XXI, além de expandir as obrigações da engenharia elétrica como campo de saber apto a transformar a sociedade.

7032

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo evidenciou que a implementação de redes de fibra óptica representa um ponto crucial para o avanço das telecomunicações e para a prática da engenharia elétrica. A tecnologia, além de possibilitar a transmissão de dados em alta velocidade e com mínima atenuação, proporciona escalabilidade e uma resiliência aprimorada em relação às demandas digitais atuais.

A fibra óptica pode ser considerada o canal mais eficiente para a transmissão de dados em serviços de telecomunicações. A habilidade de transmissão e a simplicidade na administração da rede levam as operadoras a implementarem redes ópticas, com o objetivo de aproximar ainda mais a demanda dos pontos de derivação.

Observou-se que a atuação do engenheiro eletricista é crucial em todas as fases do processo — desde o planejamento e instalação até a manutenção e a integração com outros sistemas tecnológicos. A exatidão demandada nas emendas, mensurações e arranjos de rede torna fundamental a formação contínua desses profissionais.

Sob a perspectiva social, tornou-se claro que a ampliação da infraestrutura óptica desempenha um papel fundamental na diminuição das desigualdades digitais, possibilitando

um maior acesso da população a serviços educacionais, de saúde, de entretenimento e de negócios na internet. Sob a perspectiva ambiental, a fibra óptica revela-se mais sustentável do que os cabos metálicos, uma vez que consome menos energia e possui uma durabilidade superior.

As tecnologias que fazem uso de redes ópticas continuam a progredir, apresentando novos modelos e abordagens inovadoras. Atualmente, existe uma orientação para redes do tipo GPON (Gigabit PON), um modelo que demanda menores recursos na implementação de novos enlaces, resultando em uma facilitação desse processo. Não se exaure aqui. Analisar e aprimorar o modelo de processo sugerido para essas novas tecnologias representa um vasto campo de pesquisa, assim como avaliar a relação entre custo e tempo em cada fase.

Assim, chega-se à conclusão de que a fibra óptica não se limita a um progresso tecnológico, mas constitui uma ferramenta estratégica para o desenvolvimento sustentável, a inclusão social e a modernização das telecomunicações. A implementação em amplas proporções é crucial para capacitar a sociedade frente aos desafios da era digital.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 14565: Cabeamento estruturado para edifícios comerciais — Requisitos para projeto, instalação e administração. Rio de Janeiro, 2018. 7033

ABNT NBR 14566: Cabo óptico dielétrico para aplicação subterrânea em duto e aérea espinada — Especificação. Rio de Janeiro, 2018.

Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/20610/abnt-nbr14566-cabo-optico-dielettrico-para-aplicacao-subterranea-em-duto-e-aerea-espinado-especificacao>.
Acesso em: 07 out. 2025.

ABNT NBR 15214: Compartilhamento de infraestrutura entre redes de energia elétrica e telecomunicações — Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

Disponível em:
https://www.seesp.org.br/site/images/documentos/InfraRede/ANEXO_2_ABNT_NBR_15214_2005_-_Compartilhamento_de_postes.pdf. Acesso em: 07 out. 2025.

ABNT NBR 16028: Fibra óptica tipo monomodo com baixa sensibilidade à curvatura (BLI) — Especificação. Rio de Janeiro, 2012.

Disponível em: <https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/42470/nbr16028-fibra-optica-tipo-monomodo-com-baixa-sensibilidade-a-curvatura-bli-especificacao>. Acesso em: 07 out. 2025.

ABNT NBR 16869-2: Cabeamento estruturado — Parte 2: Medições ópticas — Procedimentos de ensaio e certificação. Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <https://claritytreinamentos.com.br/publicada-a-norma-nacional-de-testes-em-cabeamento-optico/>. Acesso em: 07 out. 2025.

ABNT NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/jeangaldino/disciplinas/2015.1/installacoes-eleticas/nbr-5410>. Acesso em: 07 out. 2025.

BANDA larga via fibra óptica supera 40 milhões de acessos no Brasil. Brasília, 2023. Disponível em: <https://telesintese.com.br/banda-larga-via-fibra-optica-supera-40-milhoes-de-acessos-no-brasil/>. Acesso em: 07 out. 2025.

BASSO, F. R.; SILVA, J. P.; MENDONÇA, L. Sustentabilidade em redes ópticas: perspectivas e desafios. *Revista Brasileira de Engenharia de Telecomunicações*, v. 29, n. 2, p. 55-72, 2023.

BRASIL, L. A.; OLIVEIRA, C. F.; MORAES, T. Redes ópticas: fundamentos e aplicações. *Revista Científica de Engenharia Elétrica*, v. 15, n. 1, p. 12-30, 2020.

CORTES, Lennon da Cruz; MOREIRA, João Padilha; RODRIGUES, Jader Ligorio. Projeto de uma rede GPON implementada. *Seminário de tecnologia, gestão e educação*, v. 2, n. 2, 2020.

COSTA, P. H.; LIMA, R. S.; MOURA, F. Tecnologias de transmissão óptica: tendências e inovações. *Cadernos de Telecomunicações*, v. 14, n. 3, p. 221-239, 2023. 7034

EUZEBIO, Joaquim Moreira. Otimização de uma rede de dados urbana utilizando fibra óptica: Um estudo de caso em um provedor de internet IGAP Telecomunicações-ME. 2019.

FERREIRA, R. Inteligência artificial e OSS na gestão de redes ópticas. *Journal of Electrical and Optical Engineering*, v. 11, n. 1, p. 45-60, 2025.

KEISER, Gerd. *Optical Fiber Communications*. 2 Ed. New York: McGraw-Hill, 1991.

LOPES, A. C.; NASCIMENTO, V. T.; SANTOS, E. Arquiteturas de redes ópticas: análise comparativa entre FTTH, FTTB e FTTC. *Revista Engenharia em Foco*, v. 8, n. 2, p. 90-110, 2020.

MEIRELES, D. F.; SOUZA, G. P.; RIBEIRO, H. Inclusão digital e redes de fibra óptica: uma análise socioeconômica. *Revista Brasileira de Sociedade e Tecnologia*, v. 12, n. 1, p. 35-50, 2023.

MOREIRA, Vinícius Farias; TELOCKEN, Alex Vinícios; ROHDEN, Rafael Barasuol. FTTX: As aplicações feitas através do uso de fibras ópticas. *Revista interdisciplinar de ensino, pesquisa e extensão*, v. 9, n. 1, p. 1-12, 2021.

PEREIRA, Rafael José Gonçalves. *Fibras Ópticas e WDM*. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Seção: Comunicações Ópticas, 2008.

PINHEIRO, M. C. *Telecomunicações e fibras ópticas*. São Paulo: Érica, 2017.

QUIMIS, J. *Fundamentos das fibras ópticas*. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2018.

RELATÓRIOS de infraestrutura e banda larga — Painel de dados 2025. Brasília, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/dados/infraestrutura>.

RIBEIRO, A. F. Propagação de sinais em fibras ópticas. *Revista Científica de Engenharia Elétrica*, v. 3, n. 2, p. 87-101, 1999.

TABINI, Ricardo; NUNES, Danizard. *Fibras Ópticas*. São Paulo: Érica, 1990.

TRUJILLO, R.; QUISHPE, J. Práticas de implantação de redes ópticas: estudo técnico-operacional. *Revista Andina de Engenharia*, v. 20, n. 4, p. 65-82, 2022.

VIANNA, R.; BUENO, A. Multiplexação óptica e escalabilidade de redes. *Revista Brasileira de Tecnologia da Informação*, v. 17, n. 2, p. 145-160, 2023. Acesso em: 07 out. 2025.