

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE
DO NORTE

JONATHA RODRIGUES COSTA

**UMA PROPOSTA DE AULA EXPOSITIVA SOBRE FIBRA ÓPTICA: SUA CIÊNCIA
E TECNOLOGIA NO ENSINO MÉDIO E TECNOLÓGICO.**

NATAL

2023

JONATHA RODRIGUES COSTA

**UMA PROPOSTA DE AULA EXPOSITIVA SOBRE FIBRA ÓPTICA: SUA CIÊNCIA
E TECNOLOGIA NO ENSINO MÉDIO E TECNOLÓGICO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Licenciatura em Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cavalcante da S. Filho.
Coorientador: Esp. Jailson Luiz da Silva.

NATAL
2023

Costa, Jonatha Rodrigues.

C837p Uma proposta de aula expositiva sobre fibra óptica : sua ciência e tecnologia no Ensino Médio e Tecnológico / Jonatha Rodrigues Costa. – 2023.

63 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2023.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cavalcante da S. Filho.

Coorientador: Esp. Jailson Luiz da Silva.

1. Física – Ensino. 2. Física experimental. 3. Fibra óptica. 4. Ótica geométrica. I. Título.

CDU: 53:37

Catálogo na Publicação elaborada pela Bibliotecária Maria Ilza da Costa – CRB-15/412
Biblioteca Central Sebastião Fernandes (BCSF) – IFRN

JONATHA RODRIGUES COSTA

**UMA PROPOSTA DE AULA EXPOSITIVA SOBRE FIBRA ÓPTICA: SUA CIÊNCIA
E TECNOLOGIA NO ENSINO MÉDIO E TECNOLÓGICO.**

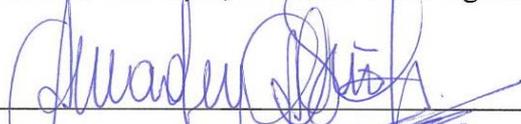
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Licenciatura em Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Licenciado em Física.

Trabalho de Conclusão de Curso, aprovado em 08/02/23 pela seguinte Banca Examinadora:



Paulo Cavalcante da Silva Filho, Dr. – Orientador

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte



Amadeu Albino Junior, M.e

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte



Melquisedec Lourenço da Silva, Dr.

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Àquele que é fonte e origem de toda a sabedoria e que nada pode ser feito, no céu ou na terra, sem o Seu consentimento. Ele me deu a virtude de ser marido e pai das pessoas mais maravilhosas do mundo, pelas quais batalhei para alcançar esse objetivo. A vocês, Danuzia, Anael (*in memoriam*) e Daniel, todo meu amor!

AGRADECIMENTOS

À Deus, Senhor de toda a glória, por sempre estar comigo e mostrar que, com Ele, posso até dançar em meio fogo (Dn 3, 12-100) e me ver livre da boca dos leões (Dn 6, 1-28); e à minha Mãe e Rainha, Nossa Senhora, por sempre me cobrir Seu Manto Sagrado e guiar.

À minha esposa, por todo apoio, conforto e suporte mesmo tendo que se negar a minha presença e participação em momentos e eventos de nossa família.

Aos meus amados filhos Anael (*in memoriam*) e Daniel, por se tornarem o grande motivo pelo qual Deus me abençoou e guiou a continuar na árdua batalha de cumprir esse objetivo.

Aos meus pais, em especial à minha mãe, pela educação e exemplos dados durante toda a vida.

A todos os familiares, pelas grandes contribuições em minha formação humana.

À Claro SA, representada pelos meus gestores Mixerlando Cunha de Albuquerque e Cláudio Martins de Sena Júnior, pelo apoio e flexibilização do meu horário de trabalho que me permitiram seguir com os estudos.

Ao Prof. Dr. Paulo Cavalcante da Silva Filho, pela excelente orientação e por acreditar que daria certo seguir com essa proposta.

A Jailson Luiz da Silva, pelas grandes contribuições e conselhos nessa empreitada final.

Ao Prof. Dr. Samuel Rodrigues Gomes Júnior, pelo incentivo a persistir no curso.

Aos professores participantes da banca examinadora Amadeu Albino Junior e Melquisedec Lourenço da Silva pelo tempo, valiosas colaborações e sugestões.

Aos colegas de turma e de curso, pelos momentos de discussões e esclarecimentos das disciplinas e por me fazer perceber que a dificuldade em seguir essa meta é algo comum a todos.

“Diziam que era impossível enxergar alguém que dobrou a esquina, mas nunca me conformei com isso.” (KAPANY, 1989)

RESUMO

Historicamente, no senso comum, a Física está restrita a ser uma disciplina específica para se decorar fórmulas, realizar cálculos e fazer o suficiente para seguir em frente nos anos escolares e nas formações técnicas e tecnológicas. Diante deste cenário, a utilização de experimentos baseados nos conhecimentos prévios que os alunos possam ter pré-concebidos para, a partir daí, adquirir novos conceitos em que possam aprofundar o que já possuem como aprendizado, é um caminho eficaz para mudar a perspectiva do que é estudar a Física. Este trabalho tem o intuito de desenvolver uma proposta de aula expositiva que possibilite a relação entre os conceitos de óptica geométrica, mais precisamente, reflexão, refração e reflexão interna total da luz, com o uso de experimentos e exposição de materiais simples e do cotidiano que torna o ensino de Física mais prazeroso. Desta forma, a metodologia utilizada para formação da proposta de aula expositiva apoia-se na formulação de 2 encontros, cada um contendo 2 aulas de 45 minutos. Nessas aulas, experimentos construídos para reforço da fundamentação teórica serão utilizados, sendo eles: a garrafa de Tyndall; painel demonstrativo de um cabo de fibra óptica (comparativo com o cabo coaxial), e um circuito básico de dados por luz. A proposta tem uma maior aproximação dos conceitos físicos aos fatos da realidade que vivemos, impulsionando a capacidade cognitiva dos alunos e reforçando a importância do fazer docente.

Palavras-chave: ensino de Física; Física experimental; óptica geométrica; fibra óptica.

ABSTRACT

Historically, in the common sense, Physics has been restricted to being a specific discipline for memorizing formulas, performing calculations and doing enough to move forward in the school years and in technical and technological training. Given this scenario, the use of experiments based on prior knowledge that students may have pre-conceived to, from then on, introduce new concepts and situations in which they can deepen what they already have as learning is an effective way to change the perspective of what it is to study Physics. This work aims to develop a proposal for an expository class that allows the relationship between the concepts of geometric optics, more precisely, reflection, refraction and total internal reflection of light, with the use of experiments and exposure of simple and everyday materials that makes teaching Physics more enjoyable. In this way, the methodology used to form the proposal for an expository class is based on the formulation of 2 meetings, each containing 2 classes of 45 minutes each. In these classes, experiments built to reinforce the theoretical foundation will be used, namely: the Tyndall bottle; demo panel of a fiber optic cable (compared with coaxial cable), and a basic data-by-light circuit. The proposal brings physical concepts closer to the facts of the reality we live in, boosting the students' cognitive capacity and reinforcing the importance of teaching.

Keywords: Physics teaching; experimental Physics; geometric optics; optical fiber.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Reflexão da luz.....	21
Figura 2 - Tipos de reflexão.	22
Figura 3 - Refração da luz.	23
Figura 4 - Ângulo crítico e reflexão interna total da luz.	24
Figura 5 - Experimento Garrafa de Tyndall.	25
Figura 6 - LASERS.	27
Figura 7 - Fabricação do tubo de pré-forma.	28
Figura 8 - Tubo de pré-forma.	29
Figura 9 - Torre de puxamento.	29
Figura 10 - Fibras multi e monomodo.	30
Figura 11 - Fibras sem coloração de acrilato e após receber a coloração.	31
Figura 12 - Coloração das fibras de acordo com o padrão adotado.	32
Figura 13 - Código de cores dos tubos Loose.	33
Figura 14 - Tubo Loose.	33
Figura 15 - Organização dos tubos Loose no cabo óptico padrão ABNT.	34
Figura 16 - Organização dos tubos Loose no cabo óptico padrão EIA598-A.	34
Figura 17 - Cabo óptico em sua fase final de montagem.	37
Figura 18 - Alguns conectores ópticos.	38
Figura 19 - Tipos de polimento.	39
Figura 20 - WDM.	40
Figura 21 - Espectro da onda eletromagnética (luz).	41
Figura 22 – Materiais para a garrafa de Tyndall.	43
Figura 23 - Videoaula: experimento Garrafa de Tyndall.	44
Figura 24 - Painel demonstrativo.	45
Figura 25 – Transistor.	47
Figura 26 - Simbologia dos transistores NPN e PNP.	48
Figura 27 - Montagem dos circuitos no protoboard.	49
Figura 28 - Detalhamento dos circuitos transmissor e receptor no protoboard.	49
Figura 29 - Esquema circuito Transmissor de dados por luz.	50
Figura 30 - Esquema circuito receptor de dados por luz.	50
Figura 31 - Montagem circuito: perfuração das placas.	51
Figura 32 - Montagem circuito: soldagem.	51

Figura 33 - Circuito básico de dados por luz, visão superior.	52
Figura 34 - Circuito básico de dados por luz, visão lateral.	52
Figura 35 - Circuito básico de dados por luz, visão frontal/traseira.	52
Figura 36 - Experimento circuito básico de dados por luz.	53
Figura 37 - Fenômenos ópticos: refração e reflexão da luz.	55
Figura 38 - Fenômeno óptico: reflexão interna total da luz.	55
Figura 39 - Experimento - Garrafa de Tyndall.	56
Figura 40 - O cabo óptico.	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Lista de materiais do painel demonstrativo.....	44
Quadro 2 - Lista de materiais circuito de dados por luz.....	46
Quadro 3 - Plano de proposta expositiva: encontro 1.....	56
Quadro 4 - Plano de proposta expositiva: encontro 2.....	58

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivo Geral	14
1.2 Objetivos Específicos	15
1.3 Organização do Trabalho.....	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO EDUCACIONAL	17
3 REFERENCIAL TEÓRICO PRÁTICO	19
3.1 Uma breve explanação sobre a luz	19
3.2 Breve revisão da óptica geométrica.....	21
3.3 Histórico da fibra óptica	24
3.4 Métodos de produção da Fibra Óptica.....	27
3.5 A produção do cabo de fibra óptica.....	30
3.5.1 Coloração da fibra óptica	31
3.5.2 Produção do tubo Loose	32
3.5.3 Formação do núcleo do cabo óptico	33
3.5.4 Aplicação da capa protetora	35
3.6 Conectorização	37
4 METODOLOGIA	41
4.1 Contexto da pesquisa	41
4.2 Sujeitos da pesquisa.....	42
4.3 Atividades experimentais	42
5 APARATOS EXPERIMENTAIS DIDÁTICOS	43
5.1 – Garrafa de Tyndall.....	43
5.2 – Painel demonstrativo: o cabo de fibra óptica.....	44
5.3 – Circuito básico de dados por luz	46
5.3.1 Transistor	47
5.3.2 Planejamento dos circuitos	48

5.3.3 Montagem final do circuito básico de dados por luz.....	51
6 APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL.....	54
6.1 Unidade didática.....	54
6.1.1 Encontro 1	54
6.1.2 Encontro 2	56
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	59
REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

A temática deste Trabalho de Conclusão de Curso é, para mim, fonte de inspiração há muito tempo. Por trabalhar com fornecimento de serviços de dados, sempre me perguntei se as pessoas têm consciência de como a evolução desta tecnologia impacta em suas vidas.

Movido pela vontade, desenvolvida no decorrer da vivência dessa graduação, de facilitar a compreensão daqueles com quem tenho contato acerca dos conteúdos da Física, sempre me questionei: como posso contribuir com os alunos para que absorvam o que lhes é exposto com maior facilidade? Como ajudá-los a compreender que a tecnologia que está no seu dia a dia tem grande contribuição da disciplina de Física? Minha vivência profissional, como técnico em telecomunicações, pode ser útil na aproximação entre os fatos teóricos históricos que eles precisam reconhecer e o conhecimento prático que podem adquirir com o uso de alguns aparatos experimentais?

Nesses questionamentos, que já existiam em minha cabeça, destacou-se um, também pela minha paixão em trabalhar com fibra óptica: como as informações são tratadas e transmitidas por meio da fibra óptica? E, percebi que esse questionamento poderia tornar-se uma excelente forma de aproximar os alunos da disciplina de Física, mais especificamente o conteúdo de óptica geométrica, por meio de um tema cotidiano e corriqueiro que todos utilizamos diuturnamente e dificilmente pensamos como essas informações podem ser importantes para compreendermos a Física de forma mais prazerosa.

Temas cotidianos já são usados como forma exemplificar e aproximar o conteúdo para os alunos. Mas, ainda assim, é possível fazer um pouco mais e contribuir para que os alunos agucem sua curiosidade e, com isso, sua afeição pelo saber. Por isso, aliar a internet, o uso dos celulares (smartphones) e a rapidez da comunicação, introduzindo aí a revolução advinda da fibra óptica e a possibilidade de trabalhar óptica geométrica, mais precisamente os fenômenos de reflexão e refração, com um foco maior na reflexão interna total da luz, ou da onda eletromagnética, mostra-se uma poderosa ferramenta educacional.

Costumeiramente, estudar Física se resume a decorar fórmulas e conceitos que pouquíssimas vezes se aproximam da realidade vivida pelo aluno.

Os Parâmetros Curriculares Nacionais (2002, p.24) enfatizam que a Física tem uma maneira própria de lidar com o mundo, que se expressa não só através da forma como representa e descreve o real, mas, sobretudo na busca de regularidades, na conceituação e quantificação

das grandezas, na investigação dos fenômenos, nos tipos de síntese que promove. No entanto, esta disciplina deve ser tratada de forma interdisciplinar. É necessário aproximar, comprometido com o desenvolvimento integral do aluno, a Física das demais áreas do currículo do Ensino Básico transformando-as num eixo integrador, capaz de formar o aluno e transformá-lo em um cidadão apto a promover mudanças positivas em seu meio de convívio. Nessa perspectiva integradora, este trabalho aqui apresentado direcionado ao tema óptica geométrica, com os fenômenos luminosos ou ondulatórios, tem o intuito de abrir novos horizontes aos alunos, provocar questionamentos e guiar a esclarecimentos através do estímulo a aprendizagem significativa. Segundo Ausubel (1980):

“Se tivéssemos que reduzir toda a psicologia educacional a um só princípio, diríamos: o fator singular mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece. Descubra isto e ensine-o de acordo.”

(AUSUBEL; NOVAK; HAANESIAN, 1980, p. 137).

Em sua metodologia, o presente Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo promover aparatos experimentais utilizando materiais de fácil acesso para a realização de experimentos que elucidem fatos históricos que trouxeram a comunicação ao patamar que temos atualmente.

Desta forma, é necessário conhecer a fibra óptica e as diversas formas de utilizá-la, em especial, como o meio mais eficaz de transportar os dados das nossas comunicações de maneira geral, e utilizar o método de Ausubel, apropriando-nos dos conhecimentos prévios dos alunos, tornando a forma de ensinar física mais interessante e atrativa para as novas gerações.

Compreender o objetivo central deste trabalho oferece uma maior autonomia, senso crítico, conhecimento de mundo e das ferramentas utilizadas para que a comunicação global se mantenha e se expanda com grandes superações das limitações encontradas pela telecomunicação ao longo do tempo.

Neste contexto, os objetivos deste trabalho são:

1.1 Objetivo Geral

Propor uma sequência didática de aula expositiva sobre fibra óptica, a história de sua criação, métodos de produção e utilização, bem como sua Ciência e Tecnologia.

1.2 Objetivos Específicos

- ✓ Apresentar uma proposta de aula expositiva sobre fibra óptica, usando experimentos em sala de aula;
- ✓ Perceber os fenômenos, sejam eles naturais ou tecnológicos, que envolvem o estudo da óptica geométrica;
- ✓ Relatar o processo dos fenômenos ópticos, mais precisamente, a reflexão interna total da luz na fibra óptica;
- ✓ Conhecer a história, criação, evolução e usabilidade da fibra óptica;
- ✓ Reconhecer o uso e a dependência da fibra óptica nas telecomunicações atualmente.

1.3 Organização do Trabalho

O presente trabalho é composto por 7 seções. A seção 1, apresenta a introdução que se desenvolve por meio da descrição da motivação desta monografia; o objetivo geral, os objetivos específicos e a organização do trabalho.

A seção 2 apresenta o referencial teórico educacional que consiste na apresentação da teoria da aprendizagem que norteia a produção da proposta de aula expositiva aqui tratada.

A seção 3 contém o referencial teórico prático que traz uma breve explanação sobre a luz, breve revisão da óptica geométrica, a história do surgimento e construção da fibra óptica, a forma de montagem de um cabo de fibra óptica utilizado em telecomunicações e sua conectorização.

Na seção 4, apresenta-se a metodologia: contexto da pesquisa; sujeitos da pesquisa e as atividades experimentais.

A seção 5 explora os aparatos experimentais didáticos, ou seja, as atividades experimentais preparadas e sugeridas para aplicação em sala de aula. São elas: prática de laboratório com o experimento da garrafa de Tyndall; painel demonstrativo de um cabo de fibra óptica (comparando ao cabo coaxial) e o circuito básico de dados por luz (LED¹ e LASER²).

Na seção 6, encontra-se a proposta de unidade didática para aplicação dos aparatos experimentais didáticos.

¹ Light-Emitting Diode (Diodo Emissor de Luz). Disponível em: <https://hosting.iar.unicamp.br/lab/luz/dicasemail/led/dica36.htm>. Acesso em: 04/02/2023.

² Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (Amplificação da luz por emissão estimulada de radiação). Disponível em: <https://www.stoodi.com.br/guias/dicas/lazer-ou-laser-qual-e-a-diferenca/>. Acesso em: 26/01/2023.

Por fim, a seção 7 trata-se das considerações finais acerca do trabalho de conclusão de curso.

2 REFERENCIAL TEÓRICO EDUCACIONAL

Apresentar ao aluno uma forma de conectar novos temas aplicados em sala de aula a situações que acontecem em seu dia a dia pode ser um meio mais eficaz de auxiliá-lo a compreender e aprender o assunto aplicado. A teoria de aprendizagem cognitiva, foca em habilidades fundamentais para a formação do conhecimento como experiência, memória e raciocínio. Ramo da referida teoria, a aprendizagem significativa, apresentada por David Ausubel (1918-2008), apresenta-se como um eixo integrador do necessário elo entre a exposição da pauta teórica e a compreensão do aluno, fazendo com que o conhecimento prévio do aluno seja elemento fundamental para que a aprendizagem ocorra de maneira significativa e eficaz.

Tal aprendizagem ocorre quando há uma ancoragem da nova informação com elementos relevantes (subsúncos ou ideias-âncora) e representações de experiências sensoriais, chamadas por Ausubel de estruturas cognitivas, já existentes na vida do aluno.

Segundo o autor, a aprendizagem de recebimento significativa compreende basicamente a obtenção de novos sentidos dos instrumentos de aprendizagem assimilado. Exigindo um grupo de conhecimento significativo e a exibição de material conseqüentemente considerável para o aluno (Ausubel, 2000, p. 8-16). Ainda de acordo com Ausubel (1980),

[...] a aprendizagem receptiva significativa é importante para a educação porque é o mecanismo por excelência de aquisição e armazenamento de uma vasta quantidade de ideias e informações representadas por algum campo de conhecimento. (AUSUBEL; NOVAK; HAANESIAN, 1980, p. 33).

Segundo Marco Antônio Moreira, ícone entre os estudiosos da aprendizagem significativa no Brasil, a aprendizagem significativa é um processo por meio do qual uma nova informação relaciona-se, de maneira substantiva, a um aspecto relevante da estrutura e conhecimento do indivíduo. Portanto:

a clareza, a estabilidade e a organização do conhecimento prévio em um dado corpo de conhecimentos, em um certo momento, é o que mais influencia a aquisição significativa de novos conhecimentos nessa área, em um processo interativo no qual o novo ganha significados, se entrega e se diferencia em relação ao já existente que, por sua vez, adquire novos significados fica mais estável, mais diferenciado, mais rico, mais capaz de ancorar novos conhecimentos. (MOREIRA, 2011, p. 26).

E ainda:

“É importante reiterar que a aprendizagem significativa se caracteriza pela interação entre conhecimentos prévios e conhecimentos novos, e que essa interação é não literal e não arbitrária. Nesse processo, os novos conhecimentos adquirem significado para o sujeito e os conhecimentos prévios adquirem novos significados ou maior estabilidade cognitiva.” (MOREIRA, 2012, p. 2)

As condições para que a aprendizagem significativa possa ocorrer, segundo estabelecido por Ausubel, a partir da análise da estrutura cognitiva, devem ser:

- ✓ Disposição para aprender, por parte do aluno e
- ✓ A potencial significância do material de aprendizagem.

Dessa forma, possibilitar a aprendizagem significativa, para o professor, é ser capaz de promover uma negociação de significados onde o aluno é enriquecido com a aquisição de novos conhecimentos e o enraizamento de conhecimentos prévios contando com sua participação ativa no processo.

Agindo de maneira ativa, participativa, o aluno se torna sujeito no processo de ensino-aprendizagem, cumprindo com a primeira condição exposta anteriormente e culminando em uma melhor fluência da aula.

A seguir, é apresentado o referencial teórico prático necessário ao trabalho de pesquisa.

3 REFERENCIAL TEÓRICO PRÁTICO

3.1 Uma breve explicação sobre a luz

O conceito de luz é algo comumente ignorado na concepção popular, mas é algo de extrema importância para que se entenda a construção do saber como o temos na atualidade, especialmente na Física e no tratamento de óptica. Vejamos, brevemente, o contexto histórico de como se deu a definição de luz.

O comportamento da luz é estudado basicamente sob dois pontos de vista: a teoria corpuscular de Newton e a teoria ondulatória de Huygens.

De acordo com Xavier e Benigno (2010, p. 215):

“[...] As várias explicações propostas e a evolução do conhecimento sobre os fenômenos ópticos fizeram que alguns cientistas, como o italiano Galileu Galilei (1564-1642), o francês René Descartes (1596-1650) e o inglês Isaac Newton (1642-1727), defendessem a ideia de que a luz era constituída por partículas. Outros, como o italiano Francesco Maria Grimaldi (1618-1663), o holandês Cristian Huygens (1629-1695), o suíço Leonhard Euler (1707-1783) e o inglês Thomas Young (1773-1829), acreditavam que a luz era um fenômeno ondulatório.”

Sobre a teoria corpuscular de Newton:

“A teoria de Newton atribui à existência de corpúsculos diferentes o efeito das diferentes cores, atribuindo às forças sobre esses corpúsculos, na superfície de separação entre dois meios, a explicação dos fenômenos da reflexão e da refração. [...]. Se a luz no prisma for branca, ela é separada nas cores que a compõe, como resultado de forças diferentes agindo nos corpúsculos correspondentes a cada cor.”
(SALVETTI, 2008, p. 51)

A teoria ondulatória, formulada por Cristian Huygens, considera que a luz possui velocidades diferentes na medida em que ocorre a mudança de meio e que no desvio da luz branca, as cores possuem comprimentos de onda distintos (SALVETTI, 2008, p. 52-54). Com isso, essa teoria desconsidera que a luz possui uma força atuando nela durante a mudança de meio (SALVETTI, 2008, p. 53).

De acordo com SALVETTI (2008):

“Se em vez de ondas temos uma fonte que lança corpúsculos, aleatoriamente, com um amplo ângulo de distribuição, alguns dos

quais após passar pelas fendas atingem o anteparo, o resultado não indicará interferência construtiva ou destrutiva entre os corpúsculos, já que a interferência é um processo tipicamente ondulatório.

[...]. Quando as duas fendas estão abertas, as partículas que atingem o anteparo passando por uma fenda somam-se às partículas que atingem o anteparo passando pela outra fenda. Não aparece o fenômeno da interferência.” (SALVETTI, 2008, p. 56-57).

Observando Xavier e Benigno (2010, p. 215), as discordâncias sobre os dois modelos teóricos do comportamento da luz perduraram entre os séculos XVII e XVIII, uma vez que o modelo ondulatório conseguia ser aplicado em inúmeros fenômenos ópticos.

De acordo com Gaspar (2010, p. 270):

“Quando, no início do século XX, alguns físicos, entre eles Einstein, concluíram que só seria possível explicar alguns fenômenos descobertos no final do século XIX atribuindo à luz uma natureza corpuscular, ficou claro que a sua natureza deveria ser diferente de tudo que se conhecia até então. Isso porque as características ondulatórias da luz não poderiam ser ignoradas, pois já estavam exaustivamente comprovadas e conhecidas. Mas ela também deveria compor-se de corpúsculos muito especiais, aos quais se deu o nome de fóton”.

Com isso, as duas teorias abordam os fenômenos da reflexão, refração e das cores, mesmo que estas análises teóricas tenham sido desenvolvidas de modos distintos (SALVETTI, 2008, p. 54).

Assim, Niels Bohr formula o princípio da complementariedade:

“[...]. Niels Bohr resumiu a situação em seu princípio da complementariedade. Os modelos corpuscular e ondulatório são complementares; se uma medida prova o caráter ondulatório da radiação ou da matéria, então é impossível provar o caráter corpuscular na mesma medida e vice-versa. [...]. Portanto, radiação e matéria não são apenas ondas ou apenas partículas.” (EISBERG; RESNICK, 1979, P.95)

Em suma, a luz possui um comportamento dual, muito importante para a concepção da Física Quântica. Podemos perceber que, na fibra óptica, aplicam-se tanto situações que indicam o comportamento corpuscular da luz como o comportamento ondulatório. No entanto, não nos ateremos a essa problemática nesta monografia.

3.2 Breve revisão da óptica geométrica

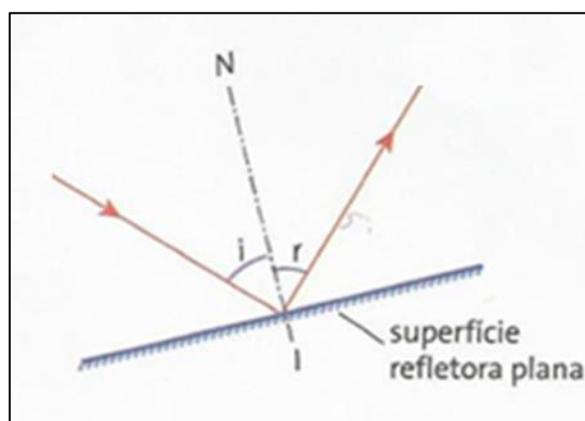
A óptica geométrica é o ramo da Física que objetiva estudar a luz e os fenômenos luminosos em geral, é considerada também parte fundamental da física que estuda as lentes, os espelhos e os instrumentos ópticos. (HALLIDAY; RESNICK, 2009).

Embora haja a ocorrência de vários fenômenos, nos ateremos aqui em 3, são eles: reflexão, refração e reflexão total da luz. Quando falamos em luz, considere-se um raio ou feixe de luz. Segundo o princípio de propagação retilínea da luz: raios de luz são linhas orientadas que representam a direção e o sentido de propagação da luz (HALLIDAY; RESNICK, 2009).

i. Reflexão da luz

A primeira lei da reflexão rege que o raio incidente, a reta normal e o raio refletido estão no mesmo plano, ou seja, são coplanares (ver figura 1). Isso significa que a luz não muda de meio sobre o qual ela incide. A segunda lei relata que o ângulo de reflexão r é igual ao ângulo de incidência i : $r = i$ (BONJORNO, 2000). Ao incidir sobre um objeto, a luz pode ser refletida de duas maneiras: regular e difusa (ver figura 2).

Figura 1 – Reflexão da luz.

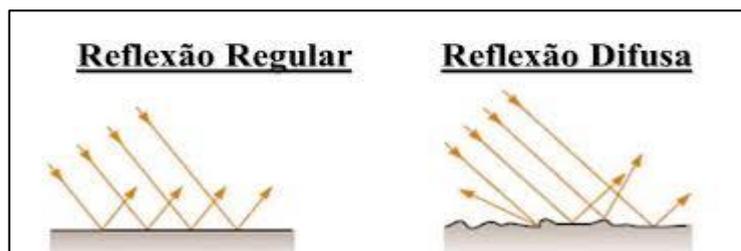


Fonte: Física: ciência e tecnologia³.

- ✓ Reflexão regular – o feixe de luz incidente gera uma imagem bem definida com o feixe de luz refletido.
- ✓ Reflexão difusa – o feixe de luz incidente não gera imagem definida em direções diferentes. No entanto o ângulo de cada raio, individualmente, continua o mesmo ($r = i$).

³ Física: ciência e tecnologia / Carlos Magno A. Torres... [et al.]. – 4 ed. – São Paulo: Moderna, 2016.

Figura 2 - Tipos de reflexão.



Fonte: estudantes...⁴.

ii. Refração da luz

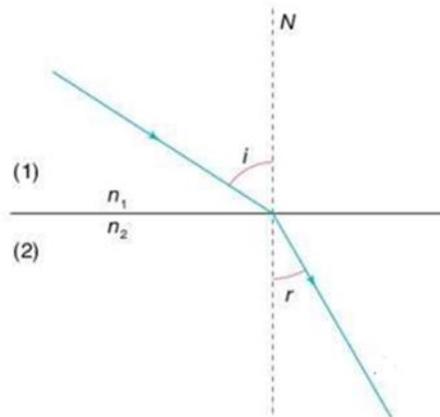
A passagem da luz por uma superfície (ou interface) que separa dois meios diferentes é chamada de refração. A menos que o raio incidente seja perpendicular à interface, a refração muda a direção de propagação da luz. (HALLIDAY; RESNICK, 2016, p.61). Tal mudança de superfície ou meio implica na mudança de velocidade de propagação da luz. Sendo assim, o índice de refração absoluto (n) de um meio é dado pela relação entre a velocidade da luz no vácuo (c) e a velocidade da luz no meio em que ela se encontra (v). Então:

$$n = \frac{c}{v} \quad (1)$$

A primeira lei da refração nos diz que o raio incidente, o raio refratado e a reta normal à superfície de separação pertencem ao mesmo plano. Na segunda lei, para cada par de meios e para cada luz monocromática (implica dizer que o raio de luz possui um único comprimento de onda λ) que se refrata é constante o produto entre o seno do ângulo que o raio compõe com o limiar entre os meios (i , para o lado do raio incidente e r , para o raio refratado) e o índice de refração do meio em que o raio de luz se encontra (Ver figura 3). Portanto:

$$n_1 \sen i = n_2 \sen r \quad (\text{lei de Snell-Descartes}) \quad (2)$$

Figura 3 - Refração da luz.



Fonte: Física: ciência e tecnologia.

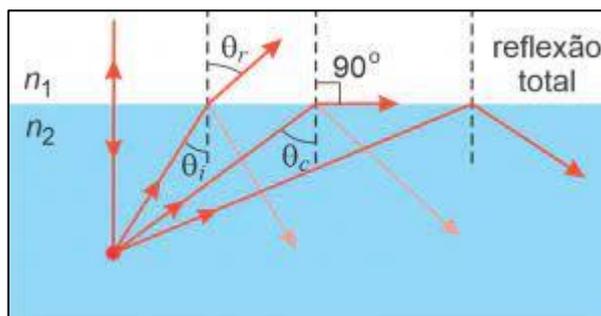
Vale ressaltar que o raio incidente se divide em dois: o raio refratado (figura 3) e um raio refletido de menor intensidade. Assim, vemos que não existe refração total do raio de luz incidente, como a figura 3 acima nos leva a intuir erroneamente.

iii. Reflexão interna total da luz

Para casos em que a luz é emitida de um meio com maior índice de refração para um meio com menor índice de refração, quando o ângulo que o raio refratado (r) faz com o limiar entre os dois meios atinge 90° , valor máximo que o ângulo do raio refratado pode atingir. $\text{sen}90^\circ = 1$. Assim, o raio desenha uma trajetória linear com a superfície de separação entre os meios e não é mais refratado. Dessa forma, o ângulo do raio incidente (i) é chamado de ângulo crítico ($\text{sen } i = \text{sen } i_c$). Se o ângulo do raio incidente for superior ao ângulo crítico o raio de luz é totalmente refletido dentro do meio com maior índice de refração, a esse fenômeno chamamos de reflexão interna total (ver figura 4). Partindo da Lei de Snell-Descartes (equação 2), temos (para $n_2 > n_1$):

$$\text{sen } i_c = \frac{n_1}{n_2} \quad (3)$$

Figura 4 - Ângulo crítico e reflexão interna total da luz.



Fonte: sala de...⁵.

A seguir, veremos uma importante aplicação para este fenômeno: a fibra óptica.

3.3 Histórico da fibra óptica

Desde os tempos mais remotos, vemos que as civilizações já tentavam utilizar, moldar a luz para atender suas necessidades. Documentários, filmes e relatos de arqueólogos apresentam que espelhos dispostos ao longo de edificações antigas serviam para “conduzir” luz e iluminar o ambiente. Há relatos de que Heron de Alexandria⁶, no século I, realizou estudos sobre a reflexão da luz em espelhos.

Uma grande utilidade no uso da luz é o código Morse⁷, que pode ser utilizado com uma lanterna, por exemplo. Esta forma de “falar” ainda é utilizada atualmente, principalmente nas forças armadas dos mais diversos países. Desta forma, preserva-se esse código de comunicação para casos em que o uso de outras tecnologias esteja impossibilitado. No entanto, essa forma de comunicação tem suas limitações, pois é necessário que não haja intempéries atmosféricas (por exemplo: névoa, chuva, relâmpago e fumaça) e a visibilidade entre aqueles que se comunicam faz-se necessária para a eficácia do “diálogo”.

Desde então, muitos cientistas tentavam resolver o problema que até então permanecia sem perspectiva de descoberta: o fato de que não se podia “dobrar” a luz. Em 1870, John Tyndall, físico inglês conseguiu provar que era possível conduzir luz em meios curvilíneos

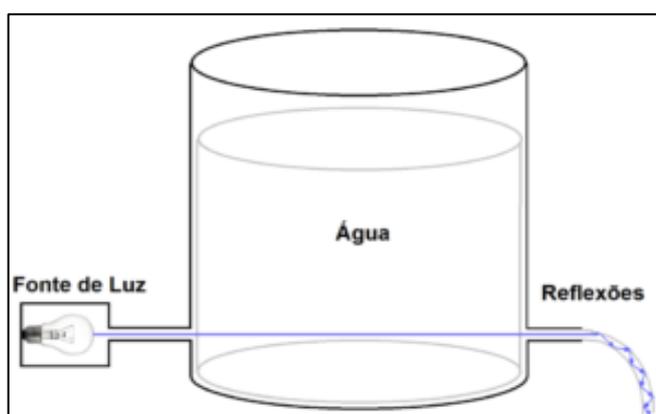
⁵ Disponível em: <http://demonstracoes.fisica.ufmg.br/artigos/ver/84/7.-Reflexao-Total>. Acesso em: 04/02/2023.

⁶ (10d.C. - 70d.C.) - Personagem importante no desenvolvimento de vários conhecimentos que utilizamos até hoje, tais como a métrica e o cálculo do volume de várias formas geométricas. Disponível em: <https://conhecimentocientifico.com/heron-de-alexandria/>. Acesso em: 18/01/2023

⁷ Sistema de representação de letras, sinais de pontuação e algarismos através de um sinal codificado enviado de modo intermitente. Desenvolvido pelo físico americano Samuel Morse (1791 - 1872). Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Samuel_Morse. Acesso em: 22/01/2023.

através de um simples experimento que ficou conhecido como garrafa de Tyndall, ver figura 5 abaixo. Esse experimento consistiu basicamente no uso de um recipiente com água e uma lanterna como fonte de luz. Assim, ao “escoar” a água por meio de um orifício e apontando a lanterna para o referido local, percebeu-se que a luz seguia o fluxo da água (encurva-se). Esse processo, em que a luz segue a trajetória do líquido, é uma sucessão de reflexões “nas paredes d’água”, que é um meio de condução com maior índice de refração que o do ar conhecido como reflexão interna total que é estudado em óptica geométrica.

Figura 5 - Experimento Garrafa de Tyndall.



Fonte: Blog IPv7⁸.

A partir da comprovação dada por Tyndall, diversas tentativas de utilização dessa nova capacidade tecnológica foram realizadas ao longo de oito décadas. Porém, somente na década de 1950, com materiais mais adequados para a produção de equipamentos é que se pode desenvolver na prática a fibra óptica, como veremos a seguir.

Em 1952, o físico indiano Narinder Singh Kapany em seus estudos sobre reflexão interna total, na Universidade de Londres, percebeu que utilizando materiais com diferentes índices de refração, um dentro do outro, poderia “aprisionar” a luz. Kapany começou seus experimentos com dois tubos cilíndricos de vidro e depois substituiu o cilindro externo por uma capa de material com baixo índice de refração, possibilitando a transmissão de imagens com algumas “aberrações” (perdas), mas mostrando eficácia no objetivo. Devido às grandes perdas na qualidade do sinal em longas distâncias e pela intenção medicinal do seu uso, era necessário reduzir a espessura do aparato óptico a dimensões semelhantes às de um fio de cabelo, o que

⁸ Disponível em: <https://www.blog.ipv7.com.br/historia/um-pouco-de-luz-na-historia-fibra-optica/>. Acesso em: 22/01/2023.

não foi difícil de conseguir, visto que a fibra de vidro já era bastante conhecida na época e, assim, surgiu a fibra óptica (nome patenteado por Kapany).

Reunida em feixes, a fibra óptica tinha boa precisão na transmissão de imagens e, por isso, teve grande impacto na evolução da medicina. O primeiro instrumento foi chamado fiberscope, produzido por Kapany em sociedade com o inglês Hopkins e o Holandês Heel. Hoje, tratamentos como endoscopia, cirurgias por videolaparoscopia e outras análises de grande impacto na vida e na saúde dos cidadãos podem ser realizados sem oferecer grandes danos ao corpo humano.

Em paralelo a toda essa evolução no campo medicinal, evoluía também a área das telecomunicações com uma utilização e necessidade de eficácia cada vez maiores. Na época (e até hoje são utilizados), cabos de cobre eram o principal meio para o transporte dos dados em forma de sinais elétricos, muito susceptíveis à várias formas de interferência como ruídos eletrônicos, ondas de rádio frequência (RF) e ondas eletromagnéticas, por exemplo.

No entanto, os cabos de fibra óptica criados até então tinham um grande problema: a perda do sinal luminoso por dispersão. Como já visto anteriormente, os cabos produzidos na época tinham como matéria-prima a fibra de vidro e, para longas distâncias, apresentavam perdas de qualidade na transmissão do sinal muito altas, na ordem de $1\text{dB}^9/\text{m}$. Isso significa que, em média, apenas 1% da luz emitida era transmitida/refletida a cada 20m de fibra, o que tornava o uso dessa tecnologia inviável do ponto de vista financeiro.

Os avanços nos estudos não pararam e, no início da década de 1960, com a criação do LASER pelo físico norte-americano Theodore Maiman, a possibilidade de uso da fibra óptica aumentou consideravelmente. O LASER (figura 6), como o próprio nome já diz, é um dispositivo emissor de luz com alta intensidade e capacidade direcional, contribuindo para redução da dispersão da luz que ocorria dentro da fibra. Ainda assim, era necessário descobrir novos materiais que viabilizassem o uso desse possível novo meio de transporte de dados. Mas, como veremos a seguir, o processo se encaminhava para uma nova revolução nas telecomunicações.

⁹ deciBel – unidade em escala logarítmica definida por Graham Bell (1847 - 1922), original denominada TU (Transmission Unit), que expressa o ganho ou a perda de qualidade na transmissão de um sinal. Disponível em: <https://embarcados.com.br/o-que-e-decibel/>. Acesso em: 22/01/2023.

Figura 6 - LASERS.



Fonte: Wikipedia¹⁰.

Com isso em mente, o físico chinês radicado na Inglaterra, Charles Kao realizou testes de chamadas telefônicas utilizando a fibra óptica como meio. Esse feito abriu os horizontes da evolução das telecomunicações através desse novo meio. Como não conduz eletricidade (material dielétrico) e, graças a sua eficácia, transmite mais dados em um menor intervalo de tempo praticamente sem sofrer interferências, tendo como principais pontos negativos além da perda por dispersão do sinal luminoso, as impurezas existentes no material utilizado, em especial os íons de Ferro (Fe^+). As primeiras construções de cabos ópticos foram utilizando a fibra de vidro, com o vidro purificado, porém as perdas ainda eram muito altas.

A ideia e a prática do uso das fibras consolidaram-se a partir da década de 1970, quando o material utilizado, proposto por Kao, na sua construção passou a ser o dióxido de silício (SiO_2) ou sílica revestida com uma capa de sílica fundida. Com esse cabo, reduziu-se a perda do sinal luminoso de 1000 dB/Km para 20 dB/Km. Com a evolução dos métodos de produção das fibras, atualmente admite-se, para efeito de cálculo, uma perda de aproximadamente 0,3 dB/Km.

3.4 Métodos de produção da Fibra Óptica

Atualmente existem quatro principais métodos de produção da Fibra Óptica, são eles:

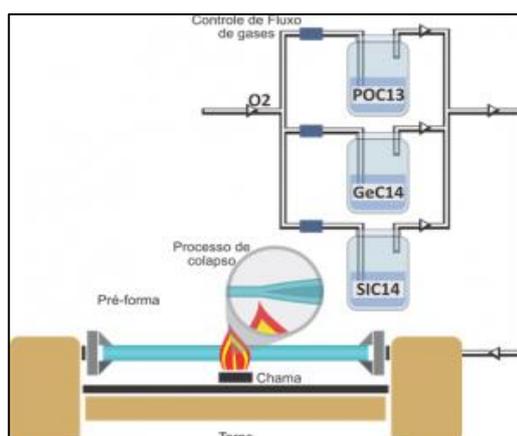
- ✓ MCDV – Modified Chemical Vapour Deposition;
- ✓ PVDC – Plasma Chemical Vapour Deposition;
- ✓ OVD – Outside Vapour Deposition;
- ✓ VAD – Vapour Axial Deposition.

¹⁰ Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Laser#/media/Ficheiro:Lasers.JPG>. Acesso em: 23/01/2023

Todos esses processos se referem a primeira etapa da produção, que é a fabricação do tubo de pré-forma. Os processos referem-se ao método utilizado para a formação do núcleo e da casca que compõem a fibra óptica, que é uma deposição dos vapores do material do qual a fibra será produzida. No caso das telecomunicações, a sílica, pura ou dopada. Quando dizemos dopada, nos referimos a um material que aja como agente facilitador para o processo de fusão (aquecimento) que o tubo ou bastão de pré-forma precisa passar para formar a fibra óptica em escala macroscópica. Tubo esse, que após a preparação passará pelo estiramento, ou seja, será puxado até atingir o diâmetro desejado para a transmissão dos dados luminosos. Como o objetivo deste trabalho é abordar a fibra óptica utilizada nas telecomunicações, falaremos do método de fabricação mais utilizado para as fibras com esse intuito que é o MCVD.

Nesse processo de Deposição de Vapor Químico Modificado (MCVD, em tradução para o português), um tubo de sílica é colocado horizontalmente em um dispositivo chamado torno óptico, ver figura 7. Esse torno mantém o tubo girando enquanto gases são injetados no interior do tubo e o sistema é aquecido a aproximadamente 1500°C. Os gases referidos são: SiCl_4 (cloreto de silício), GeCl_4 (cloreto de germânio) e POCl_3 (oxicloreto de potássio) suas concentrações são controladas para que a camada do núcleo seja produzida conforme o esperado. Após a deposição dos gases, aumenta-se a temperatura para 2000°C para o fechamento do tubo garantindo, assim, a pureza do núcleo da fibra em processo de fabricação.

Figura 7 - Fabricação do tubo de pré-forma.



Fonte: Fibracem.com¹¹.

¹¹ Disponível em: <https://www.fibracem.com/como-e-feita-a-fabricacao-de-fibra-optica/> Acesso em: 20/12/2022.

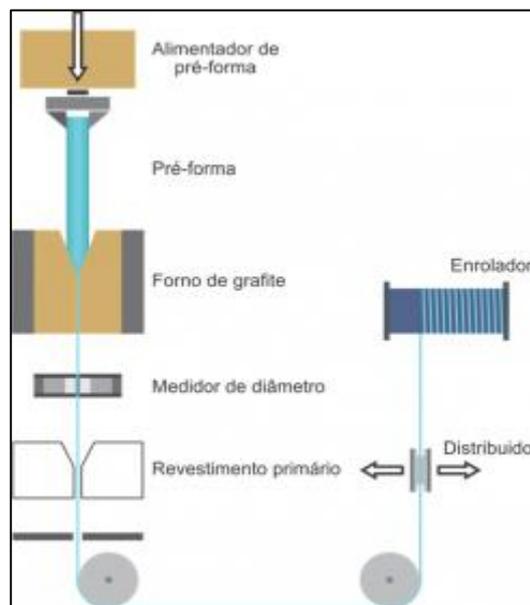
Figura 8 - Tubo de pré-forma.



Fonte: Fasten Group¹².

Após essa fase, passamos ao estiramento, processo que consiste em esticar, prolongar a fibra para que ela atinja as medidas desejadas. O tubo de preforma (figura 8) passa por uma estrutura chamada de torre de puxamento (figura 9) e é introduzida em um forno de grafite a aproximadamente 2000°C. Ao sair do referido forno, o tubo de preforma é agora um fio com dimensões similares às de um fio de cabelo: a fibra óptica.

Figura 9 - Torre de puxamento.



Fonte: Fibracem¹³.

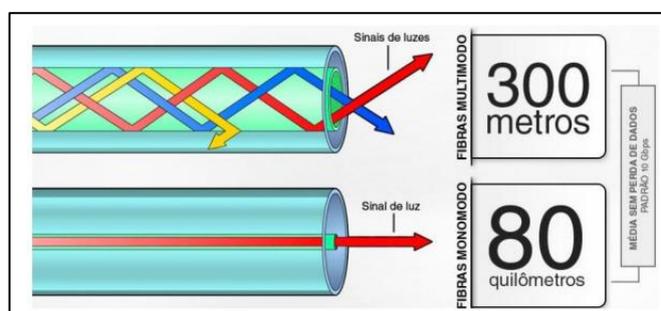
¹² Disponível em: <http://www.chinafasten.com.cn/pt/optical-fiber-preform/>. Acesso em: 11/01/2023

¹³ Disponível em: <https://www.fibracem.com/como-e-feita-a-fabricacao-de-fibra-optica/> Acesso em: 28/01/2023.

No processo descrito acima, são fabricadas fibras do tipo monomodo e multimodo. Segundo a HT Cabos (2021)¹⁴, empresa fabricante de cabos de fibra óptica:

- ✓ Multimodo (MM) – Foi o primeiro tipo de fibra desenvolvido. O maior diâmetro desse modelo faz com que seja possível transmitir mais de um sinal simultaneamente, além de fazer com que os feixes de luz possam transitar em mais de um modo. Essa transmissão “não linear” da luz faz com que haja uma maior perda de sinal nesse tipo de fibra. Portanto, esse não é o tipo de fibra ideal para transmissão de dados em grandes distâncias.
- ✓ Monomodo (SM) – o seu diâmetro menor faz com que a luz seja transmitida de forma “linear” nas fibras monomodo, e, dessa forma, diminui a dispersão de sinal durante a transmissão dos dados. É o tipo de fibra mais utilizado para a produção dos cabos ópticos para telecomunicações.

Figura 10 - Fibras multi e monomodo.



Fonte: Online Telecom¹⁵.

Ao sair do forno, a fibra tem seu diâmetro medido e recebe revestimentos de proteção. Em seguida, passa pelo procedimento de controle de qualidade e é enrolada em um carretel ou bobina.

Essas bobinas são encaminhadas às empresas que trabalham com o processo de produção do cabo de fibra óptica ou cabo óptico, como veremos a seguir.

3.5 A produção do cabo de fibra óptica

Após receberem as bobinas de fibras ópticas em seus estabelecimentos, as empresas construtoras dos cabos de fibra óptica iniciam o longo processo de confecção do cabo. Para que a fibra seja agrupada e componha o cabo óptico utilizado nas telecomunicações, que é nosso interesse, existem 4 etapas de produção: coloração da fibra óptica; produção do tubo Loose;

¹⁴ Disponível em: <https://htcabos.com.br/en/news/as-diferencas-entre-os-tipos-de-fibra-optica-2/>. Acesso em: 28/01/2023.

¹⁵ Disponível em: <https://onlinetelecom.com.br/hidrolandia/blog/1>. Acesso em: 05/02/2023.

formação do núcleo do cabo óptico e aplicação da capa protetora. A seguir temos suas descrições.

3.5.1 Coloração da fibra óptica

As bobinas de fibra são fornecidas com a fibra sem coloração alguma. Portanto, para montagem do cabo óptico é necessário que cada fibra receba uma coloração, geralmente em acrilato (ver figura 11), de acordo com as normas vigentes. Doze cores são utilizadas nesse processo de coloração das fibras que compõem o cabo óptico utilizado como *Backbone*¹⁶ na área de telecomunicações, as referidas cores são: verde, amarelo, branco, azul, vermelho, violeta (roxo), marrom, rosa, preto, cinza, laranja e Aquamarine (águas marinhas ou azul bebê).

Figura 11 - Fibras sem coloração de acrilato e após receber a coloração.



Fonte: HT cabos¹⁷.

No Brasil, utilizam-se 2 códigos de cores, chamados de padrões, diferentes entre si na distribuição da ordem das cores utilizadas: O padrão ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), popularmente chamado de padrão brasileiro; e o padrão internacional EIA598-A, popularmente conhecido como padrão americano, onde a sigla EIA¹⁸ (Electronic Industries Association) refere-se ao instituto de normatização técnico americano. Como são possíveis 12 cores diferentes cada órgão normatizador estipulou a ordem de cor a ser usada no encapsamento das fibras de acordo com a figura 12 a seguir.

¹⁶ Termo na língua inglesa que significa Espinha dorsal, em tradução livre.

¹⁷ Disponível em: <https://htcabos.com.br/en/news/conheca-as-fases-de-producao-do-cabo-optico-2/>. Acesso em: 30/01/2023.

¹⁸ Disponível em: <https://www.inatel.br/revista/busca/217-caracteristicas-da-propagacao-s227918-1/file>. Acesso em: 03/02/2023.

Figura 12 - Coloração das fibras de acordo com o padrão adotado.

Fibra	Cor – Padrão ABNT	Cor - Padrão EIA598-A
1	Verde	Azul
2	Amarelo	Laranja
3	Branco	Verde
4	Azul	Marrom
5	Vermelho	Cinza
6	Violeta	Branco
7	Marrom	Vermelho
8	Rosa	Preto
9	Preto	Amarelo
10	Cinza	Violeta
11	Laranja	Rosa
12	Aqua	Aqua

Fonte: Infra News Telecom¹⁹.

Vale salientar que todas as empresas que produzem cabo óptico em âmbito nacional devem seguir o padrão ABNT obrigatoriamente. Já os cabos no padrão americano, são importados.

3.5.2 Produção do tubo Loose²⁰

Tubo Loose é um tubo termoplástico geralmente, constituído por Poli Butileno Tereftalato (PBT)²¹, utilizado para agrupar as fibras que passaram pelo processo de coloração. As fibras são agrupadas, de 2 até 12, soltas dentro do tubo podendo ter ou não uma geleia derivada de petróleo. Quando o tubo é preenchido com a referida geleia, chamamos de tubo geleado e, quando não, chamamos de tubo seco.

A depender de quantas fibras o cabo óptico comporte, pode haver um ou mais tubos dentro do cabo. Portanto, fez-se necessário, assim como na coloração das fibras, uma codificação para os tubos Loose. Essa codificação também é diferente entre o padrão ABNT e o padrão EIA598-A, como pode ser visto na figura 13 abaixo.

¹⁹ Disponível em: <https://www.infranewstelecom.com.br/codigo-de-cores-em-fibras-opticas/>. Acesso em: 29/01/2023.

²⁰ Loose [lu:s] (adj.) 1 solto, desatado. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/palavra/AY8Y3/loose/>. Acesso em: 29/01/2023.

²¹ Disponível em: <https://agilcor.com.br/produtos-e-mercados/mercado-de-fibras-opticas/>. Acesso em: 30/01/2023.

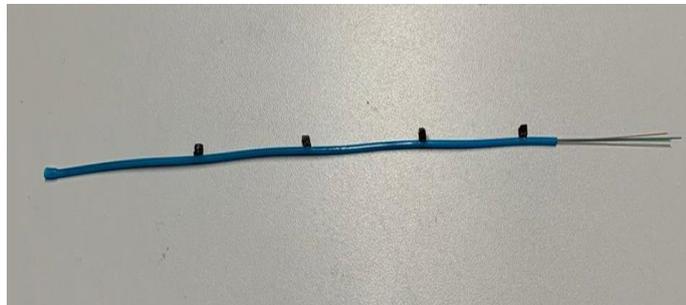
Figura 13 - Código de cores dos tubos Loose.

Grupo	Cor - Padrão ABNT	Cor - Padrão EIA598-A
1	Verde	Azul
2	Amarelo	Laranja
3	Branco	Verde
4	Branco	Marrom
5	Branco	Cinza
6	Branco	Branco
7	Branco	Vermelho
8	Branco	Preto
9	Branco	Amarelo
10	Branco	Violeta
11	Branco	Rosa
12	Branco	Aqua

Fonte: Infra News Telecom.

Formados os tubos (figura 14), seguimos para a próxima fase de montagem do cabo óptico.

Figura 14 - Tubo Loose.



Fonte: elaboração própria em 2023.

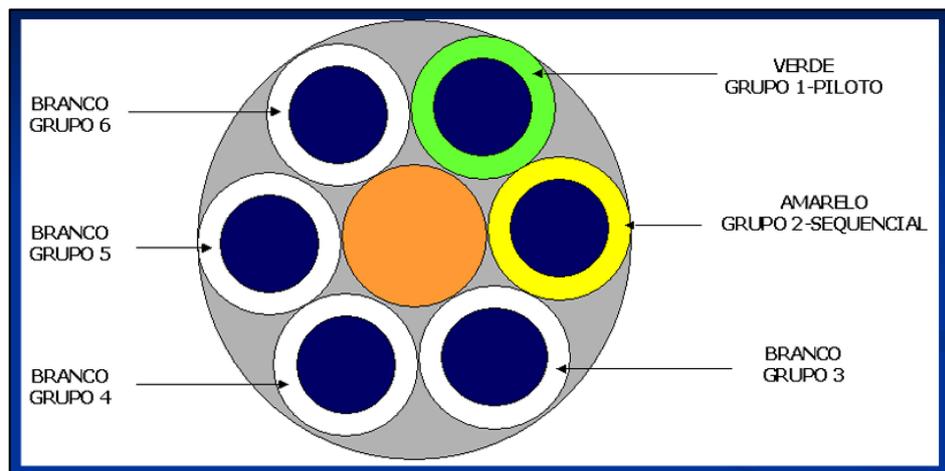
3.5.3 Formação do núcleo do cabo óptico

Nessa fase da preparação do cabo óptico, os tubos Loose são enrolados em volta de um suporte dielétrico central, geralmente composto por fibra de vidro. A forma de enrolar os tubos em volta do suporte dielétrico central é chamada reunião SZ devido a inversão do sentido de enrolamento dos tubos em uma distância calculada.

Como mostrado na figura 13, novamente os padrões de codificação diferem, mas, dessa vez, são abruptamente diferentes. No padrão ABNT, apenas 2 tubos são coloridos: o tubo 1, ou tubo piloto, na cor verde; e o tubo 2, ou tubo direcional ou sequencial, na cor amarela. Percebe-se que os 2 primeiros tubos são coloridos de acordo com as 2 primeiras cores contidas nas fibras

do mesmo padrão (figura 15). Essa forma de identificação utilizada pelo padrão ABNT dificulta bastante a identificação de um cabo com mais de 2 tubos Loose em sua composição. Por esse motivo, a orientação para a identificação dos tubos é que o primeiro tubo branco após o tubo 2 (amarelo) seja identificado como o tubo 3 e assim por diante até que o último tubo seja aquele próximo ao tubo 1 (verde), podemos verificar o exposto na figura ?. Como informado anteriormente, esse é o motivo pelo qual o tubo 2 é chamado tubo direcional ou sequencial.

Figura 15 - Organização dos tubos Loose no cabo óptico padrão ABNT.



Fonte: EPUSP²².

No padrão EIA598-A, figura 16, os tubos recebem as mesmas cores do código das fibras facilitando consideravelmente o trabalho de identificação dos tubos que agrupam as fibras.

Figura 16 - Organização dos tubos Loose no cabo óptico padrão EIA598-A.



Fonte: WB Networks²³.

²² Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2273344/mod_resource/content/2/PEA-5716%20-%20Aula%2003%202016.pdf. Acesso em: 29/01/2023.

²³ Disponível em: <https://wbnetworks.com.au/blog/optical-fibre-cable-structures>. Acesso em: 29/01/2023

Após o trançamento dos tubos Loose, segue-se o processo de inserção de outros componentes que auxiliam na fixação da estrutura do cabo, tracionamento e proteção contra infiltração. Conforme o Josemir Coelho Santos (2016, p.37), são eles:

- ✓ Elemento de tração interno: utilizados para aumentar a resistência à tensão que pode ser aplicada ao cabo óptico, geralmente são fios compostos por monofilamentos de plástico PET.²⁴
- ✓ Fitas: compostas por papel celulose ou poliéster com resistência térmica e propriedades de resistência a tensão são utilizadas para envolver os tubos Loose e oferecer proteção contra infiltração.

3.5.4 Aplicação da capa protetora

O processo final da montagem do cabo óptico consiste na aplicação de mais camadas de proteção e resistência à tensão que pode ser aplicada ao cabo e a aplicação da capa protetora. Nas camadas anteriores a capa, temos:

- ✓ Elemento de tração externo: composto por aramida, mesmo material que se fazem coletes à prova de bala e capacetes no ramo militar, são fios que possuem altíssima resistência à tração mecânica.
- ✓ Fio de rasgamento: composto geralmente por nylon, é um fio que auxilia na abertura da capa do cabo óptico.

A capa protetora é composta de material termoplástico, com proteção aos raios UV (ultravioleta), geralmente com proteção retardante à chama. Após a aplicação da capa, pelo processo de extrusão²⁵, é feita a marcação do cabo com as informações necessárias para sua identificação e correta utilização.

De acordo com o Josemir Coelho Santos (2016, p.41), a designação (identificação) do cabo óptico se dá da seguinte forma:

CFOA - X - Y - W - Z - K

²⁴ Polietileno Tereftalato. Disponível em: <https://www.plastico.com.br/pet-sintese-e-aplicacoes-transformacao/>. Acesso em: 26/01/2023.

²⁵ ex·tru·são (sf) 4 (TECN) Processo de modelagem de materiais que consiste na passagem forçada, especialmente de metais, mas também plástico, borracha, cerâmica e vidro, através de orifício ou fenda, a fim de se obter uma forma alongada ou filamentososa. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/extrusao>. Acesso em: 30/01/2023.

CFOA = Cabo com Fibra Óptica revestida em Acrilato

X – tipo de fibra óptica, que pode ser:

MM = Fibra Óptica Multimodo

SM = Fibra Óptica Monomodo Comum

DS = Fibra Óptica Monomodo de Dispersão Deslocada

NZD = Fibra Óptica Monomodo de Dispersão Deslocada Não Zero

Y - aplicação do cabo óptico e formação do núcleo, sendo os mais usuais designados por:

APL = Fita de Alumínio Polietileno Laminado

ARD = Protegido com Armadura em fita de aço corrugado para instalação em Duto

ARE = Protegido com Armadura em fita de aço corrugado para instalação diretamente Enterrada

AS-Y = Auto Sustentado para vãos de Y metros, sendo Y = 80, 120 ou 200 m

DD = Dielétrico para instalação em Duto

DDR = Dielétrico para instalação em Duto protegido contra o ataque de Roedores

DE = Dielétrico para instalação diretamente Enterrada

DER = Dielétrico para instalação diretamente Enterrada protegido contra o ataque de Roedores

DPE = Dielétrico e Protegido para instalação diretamente Enterrada

W - Tipo de barreira à penetração de umidade, composta por dois tipos apenas:

G = Geleado - núcleo preenchido com composto não higroscópico

S = Seco - núcleo protegido com material hidroexpansível

Z - número de fibras ópticas do cabo, que podem ser as seguintes quantidades: 2, 4, 6, 8, 10, 12, 18, 24, 30, 36, 48, 60, 72, 84, 96, 108, 120, 132, 144, 156, 168, 180, 192, 204, 216, 228, 240, 252, 264, 276 e 288. No nosso caso, o cabo utilizado pode chegar ao máximo de 144 fibras ópticas.

K - A informação referente a essa letra depende do tipo de aplicação do cabo óptico.

Na rede externa aérea, designa tipos de revestimentos externos, que podem ser:

NR = Normal

RC = Retardante à Chama

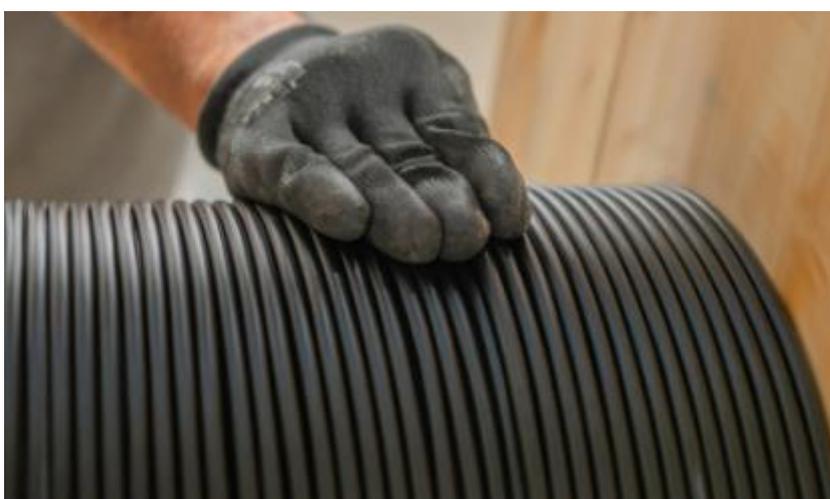
Na rede externa subterrânea, designa características especiais, que podem ser:

PFV = Proteção com Fibra de Vidro

PPU = Proteção com elemento Pultrudado, utilizando-se geralmente uma camada de Fibra Reforçada Plástica (FRP)

Além dessas informações obrigatórias, no cabo também são impressos o nome da empresa fabricante, o nome da empresa contratante, o lote de fabricação e a marcação da metragem do cabo óptico. Todas essas informações são exibidas a cada metro do cabo. Na figura 17, temos o cabo óptico em sua fase final de montagem.

Figura 17 - Cabo óptico em sua fase final de montagem.



Fonte: HT cabos²⁶.

3.6 Conectorização

Para que a luz chegue nos terminais com a qualidade desejada, é necessário que haja um acoplamento eficaz. De acordo com Josemir Coelho Santos (2016, p.55), as fibras são alinhadas através do uso de conectores ópticos e não fusionadas em suas conexões terminais. O uso desses conectores permite desconexões e conexões repetidas vezes sem prejuízo à integridade do sinal óptico, o que gera grande um baixo de operação e manutenção no serviço de telecomunicações.

Os conectores ópticos são compostos por capa, carcaça e ferrolho. Ainda conforme Josemir Coelho Santos (2016, p.56):

- ✓ Capa: é responsável por atenuar esforços mecânicos entre a carcaça e a fibra óptica que se encontra em seu interior, constituída geralmente por PVC;

²⁶ Disponível em: <https://htcabos.com.br/en/news/conheca-as-fases-de-producao-do-cabo-optico-2/>. Acesso em: 30/01/2023.

- ✓ Carcaça: função de fornecer proteção mecânica ao conjunto ferrolho e fibra óptica e o tipo de encaixe, podendo ser rosqueável, baioneta ou “push-pull”, constituída de plástico ou aço inox;
- ✓ Ferrolho: é o componente central do conector, geralmente constituído de cerâmica, sendo responsável pela fixação da carcaça e de abrigar a terminação da fibra óptica. O ferrolho apresenta a sua face externa polida.

Os tipos de conectores (figura 18) podem ser:

- ✓ ST (“Straight Tip”);
- ✓ FC (“Ferrule Connector” ou “Fiber Channel”);
- ✓ LC (“Lucent Connector”);
- ✓ SC (“Subscriber Connector”, “Square Connector” ou “Standard Connector”);
- ✓ E2000, DIN (“Deutsches Institut für Normunge”).

Figura 18 - Alguns conectores ópticos.



Fonte: Mundifibra²⁷.

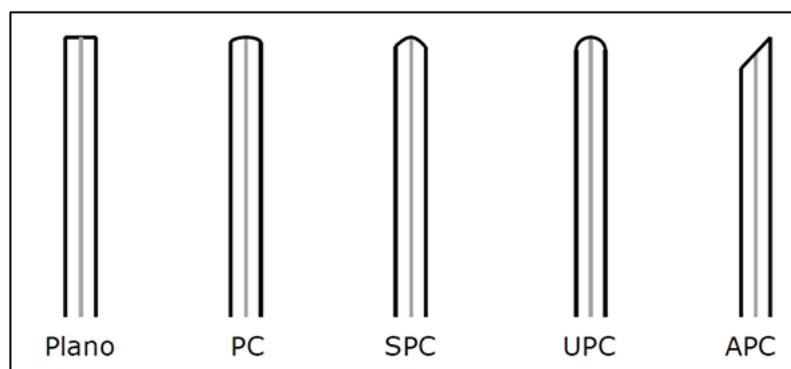
Os polimentos, ver figura 19, podem ser:

- ✓ Plano (“flat”): a superfície de conexão do ferrolho é plana. Quando conectados, formam-se pequenas lacunas de ar entre as superfícies dos conectores devido a pequenas imperfeições nessas superfícies de contato;

²⁷ Disponível em: <https://www.mundifibra.com.br/cordoes-e-cabos-opticos1.html>. Acesso em: 30/01/2023.

- ✓ PC (“Physical Contact”): quando conectado, as superfícies das duas fibras ópticas estão em contato direto, já que a face externa do ferrolho e a fibra óptica mantêm um perfil convexo;
- ✓ SPC (“Super Physical Contact”): apresenta um perfil convexo com menor raio de curvatura que o PC;
- ✓ UPC (“Ultra Physical Contact”): apresenta um perfil convexo com menor raio de curvatura que o SPC;
- ✓ APC (“Angled Physical Contact”): Suas superfícies também são curvas, porém, em um ângulo de 8 graus em relação ao plano de polimento, mantendo uma conexão mais firme.

Figura 19 - Tipos de polimento.



Fonte: EPUSP²⁸.

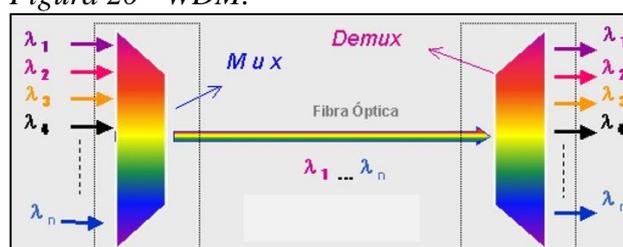
E dessa forma, estrutura-se o conector óptico, designando o tipo de conector e qual polimento ele utiliza. Por exemplo: conector SC-APC, SC-PC, FC-Plano.

A luz transmitida na fibra é gerada através de um fotoemissor que pode ser constituído por LED (luz policromática para a fibra multimodo) ou por LASER (luz monocromática para a fibra monomodo). Aqui se concretiza melhor a importância da refração da luz para a qualidade da transmissão do sinal luminoso na fibra óptica. Como visto na figura 10, a fibra monomodo consegue atingir distâncias maiores que a fibra multimodo, isso porque na fibra multimodo ocorre a reflexão difusa dos vários comprimentos de onda (λ) da luz policromática que trafega na fibra, devido ao princípio da independência dos raios luminosos que relata: quando dois raios luminosos se cruzam há interferência entre apenas no ponto onde as trajetórias se encontram sem, no entanto, alterar a trajetória de tais raios; e há grande índice de perda por dispersão. Já na fibra monomodo apenas um sinal trafega na fibra reduzindo a quantidade de reflexões que

²⁸ Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2273344/mod_resource/content/2/PEA-5716%20-%20Aula%2003%202016.pdf. Acesso em: 29/01/2023.

ocorrem dentro da fibra, mas esse sinal é resultado da junção (multiplexação) de vários comprimentos de onda ocasionado pela refração decorrente do processo WDM (Wavelength Division Multiplexing). Nesse processo, os diversos comprimentos de onda passam por uma refração (multiplexação) e se tornam um único sinal a ser transmitido na fibra óptica. Ao chegar a seu destino, o sinal óptico passa por um novo processo de refração (demultiplexação) e é dividido nos vários comprimentos de onda originais (ver figura 20). Como falado anteriormente, a ocorrência desses fenômenos para a fibra multimodo e para a fibra monomodo corroboram o entendimento de que a luz possui uma natureza dual, pois na fibra monomodo ela se comporta como um corpúsculo e na fibra multimodo ela apresenta comportamento ondulatório. Ainda sobre a diferença dos dois tipos de fibra temos o diâmetro do núcleo, que na fibra multi é maior devido a necessidade de um espaço maior para sucessivas reflexões que ocorrem. Enquanto na fibra monomodo, quanto menor for diâmetro do núcleo melhor, pois reduzirá a quantidade de reflexões e perdas por dispersão do sinal luminoso.

Figura 20 - WDM.



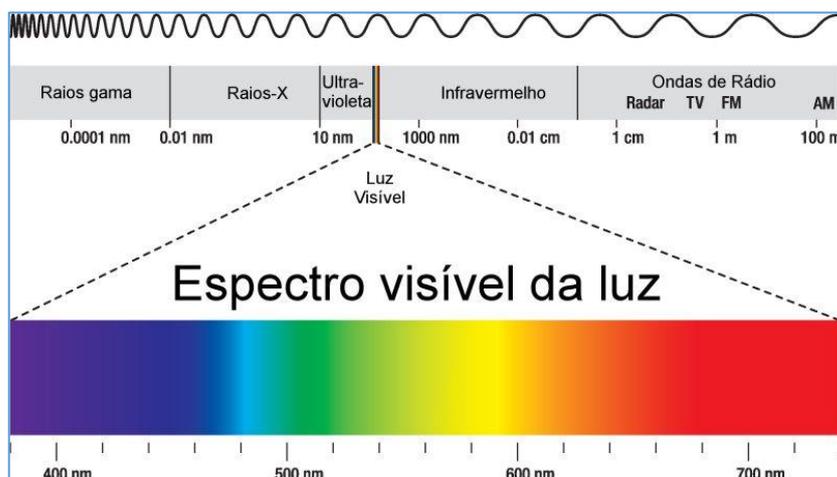
Fonte: teleco²⁹.

A transmissão das informações se dá ao codificar o código binário de “zero e um” da linguagem digital, para uma sequência de “emissão de luz/ausência de luz”. Dessa forma, o sinal binário é convertido em sinal elétrico e, por sua vez, o sinal elétrico é convertido em sinal óptico e pode ser conduzido através da fibra, com velocidade próxima a c (velocidade de propagação da luz no vácuo $c \cong 3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$).

Vale salientar que a luz, a qual nos referimos, não é uma luz na faixa do visível. Mas na parte do infravermelho contido no espectro da onda eletromagnética, conforme nos mostra a figura 21, que popularmente chamamos de luz. Isso torna o manuseio da fibra ativa (com luz trafegando por dentro dela) altamente perigoso, podendo levar à cegueira, caso o indivíduo aponte a fibra em direção aos olhos. Isso também vale para o manuseio com canetas LASER.

²⁹ Disponível em: https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialdwdm/pagina_3.asp. Acesso em: 06/02/2023.

Figura 21 - Espectro da onda eletromagnética (luz).



Fonte: InfoEscola³⁰.

4 METODOLOGIA

Nesta seção, apresenta-se uma proposta de aula expositiva para o ensino do conteúdo de óptica geométrica, agregando o conhecimento da fabricação da fibra óptica e sua importância para as telecomunicações. Por se tratar de uma proposta, ainda não apresenta resultados, mas evidência formas de abordar significativamente o conteúdo em sala de aula.

A proposta sugere a utilização do material didático da instituição de ensino em que o docente atua. No caso da formulação deste trabalho, utilizou-se o material em uso no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), Campus Natal Central (CNAT), que é o livro Física: ciência e Tecnologia 2³¹ e os aparatos experimentais didáticos (a serem detalhados na seção 5). A seguir, os subitens 4.1, 4.2 e 4.3 tratam do contexto, dos sujeitos e das atividades experimentais da pesquisa.

4.1 Contexto da pesquisa

A proposta foi desenvolvida com o objetivo de apresentar uma possibilidade experimental para os alunos do Ensino Médio e Tecnológico (Médio e Superior). Baseado nos conteúdos de reflexão, refração e reflexão interna total da luz na óptica geométrica, este planejamento conta com uma proposta de aula expositiva onde estão inclusos os aparatos experimentais didáticos.

³⁰ Disponível em: <https://www.infoescola.com/fisica/espectro-eletromagnetico/>. Acesso em: 01/02/2023.

³¹ TORRES, C. M. A. et al. Física: ciência e tecnologia. 4. V.2. ed. São Paulo: Moderna, 2016.

4.2 Sujeitos da pesquisa

Alunos do Ensino Médio da Educação Básica e Ensino Tecnológico (Médio e Superior). Também podendo ser utilizado com alunos do curso de Licenciatura em Física, como forma de reforço às disciplinas da grade curricular e dos estágios docentes.

4.3 Atividades experimentais

As atividades experimentais são de suma importância para o entendimento da teoria apresentada. Com elas, os alunos podem chegar às conclusões desejadas de forma a se apropriarem do conhecimento. No planejamento didático deste trabalho, são propostas 3 atividades experimentais: garrafa de Tyndall, painel demonstrativo do cabo de fibra óptica e circuito básico de dados por luz. Nelas, os alunos poderão entender como se dá o processo de reflexão total da luz (usando a garrafa de Tyndall), como esses conceitos guiaram a comunidade científica ao desenvolvimento da fibra óptica, como revolucionou a forma como nos comunicamos (painel demonstrativo) e como é possível utilizar, na prática, a luz para realizar a transmissão de dados (circuito básico).

5 APARATOS EXPERIMENTAIS DIDÁTICOS

Nesta seção, falaremos sobre os experimentos que serão usados em sala de aula como um auxílio ao esclarecimento dos temas abordados neste trabalho.

5.1 – Garrafa de Tyndall

A fim de conduzir os alunos ao seu próprio momento de produção do saber, as experimentações são ferramentas eficazes que auxiliam no processo de entendimento dos temas abordados. Para o experimento da garrafa de Tyndall, precisamos dos seguintes materiais:

- ✓ Garrafa PET 1L;
- ✓ Faca ou material perfurante (para perfurar a garrafa);
- ✓ LASER;

Preparando o experimento:

- i. Com a garrafa em mãos e com o auxílio da faca, faça um orifício a aproximadamente três (03) dedos da base da garrafa.
- ii. Em seguida, tampando o furo feito, encha completamente a garrafa com água e tampe-a.
- iii. Após isso, posicione o LASER de forma que luz atravesse a garrafa e seja direcionada ao furo confeccionado.

Pronto! O experimento está preparado para ser realizado (ver figura 22).

Figura 22 – Materiais para a garrafa de Tyndall.



Fonte: Elaboração própria em 2023.

Sabe-se que a realidade da maioria das escolas do nosso país não permite que a experimentação seja realizada em sala de aula ou laboratório. Pensando nessa questão e, agindo

preventivamente pelas novas possibilidades educacionais aceleradas pela ocorrência do vírus da pandemia, apresentamos como solução um vídeo, gravado e postado em uma plataforma de compartilhamento de vídeos e, utilizando de um meio que se popularizou muito recentemente viabilizamos sua consulta mesmo se estiver impresso. Esse meio é o QR Code, disponível na Figura 23 a seguir.

Figura 23 - Videoaula: experimento Garrafa de Tyndall.



Fonte: Elaboração própria em 2023.

5.2 – Painel demonstrativo: o cabo de fibra óptica

Expandir o conhecimento prévio do aluno e realizar uma demonstração onde o aluno possa tocar ou sentir o material sobre o qual se explana pode representar a diferença entre decorar e aprender o conteúdo abordado. Por isso, a construção deste painel de cabos serve para abordar toda a teoria apresentada acerca das etapas de construção da fibra e do cabo óptico.

O presente painel é composto pelos materiais descritos no quadro 1.

Quadro 1 - Lista de materiais do painel demonstrativo.

Quantidade	Material
01	Quadro magnético
03	Cabo óptico
01	Tubo Loose
01	Suporte dielétrico central
01	Cabo óptico “drop” GPON
01	Cabo coaxial de utilização externa
01	Cabo coaxial de utilização interna
17	Pedaço de fita magnética
04	Folha magnética

12	Ímã de neodímio
----	-----------------

Fonte: elaboração própria em 2023.

Com o propósito de elucidar o histórico, utilidade e aplicabilidade que a fibra óptica tem atualmente, permitindo que os alunos sejam atuantes na construção do seu próprio conhecimento, o painel tem o intuito de mostrar as etapas da montagem do cabo óptico, bem como fazer um breve comparativo dimensional com o cabo coaxial (já existente!). A construção do painel com ímãs tem o propósito de facilitar o manuseio do material afim de evitar possíveis danos a sua estrutura.

Nesta monografia, foi descrito o processo de montagem do cabo óptico a partir da fibra até a capa de proteção. Na explanação do painel demonstrativo, pretende-se fazer o caminho inverso, exibindo aos participantes o cabo como o vemos habitualmente ao caminhar na rua e, a partir dessa ideia-âncora, mostrar o que há por dentro do cabo óptico, parte por parte até que cheguemos à fibra óptica.

Figura 24 - Painel demonstrativo.



Fonte: Elaboração própria em 2023.

Desenvolvida a explanação sobre o cabo óptico e a fibra óptica, faríamos o comparativo com o cabo coaxial onde a perda se dá na faixa de 10dB/km contra 0,03dB/km da fibra óptica. Para dar uma noção prática a essa realidade, um simples comentário parece ser suficiente: 4 cabos coaxiais de utilização externa tem a capacidade de atender até 1000 usuários simultaneamente. Esses mesmos cabos coaxiais são alimentados por 2 fibras ópticas. O impacto nessa informação se dá pela noção visual entre as dimensões do cabo coaxial em relação à fibra óptica. Outra informação comparativa que traremos aos alunos é a informação sobre a

tecnologia GPON (Gigabit Passive Optical Network)³² representada no cabo drop GPON presente no painel, sendo de grande valia salientar que apenas 1 fibra pode atender até 256 clientes simultaneamente.

5.3 – Circuito básico de dados por luz

Todo o exposto no painel já fornece uma boa ideia que funciona como um expensor da ideia-âncora dos alunos participantes da aula expositiva. No entanto, permanece abstrata a noção de como a luz pode levar informações de um ponto a outro. Pensando nisso e contando com a valiosa orientação do técnico de laboratórios do departamento de Física do IFRN-CNAT, o especialista Jailson, orquestramos a construção de dois circuitos simples que capacitassem mostrar como o áudio de um celular ou caixa de som pode ser transmitido de um circuito a outro por emissão/recepção de luz.

No quadro 2 estão listados os materiais utilizados na versão final deste projeto:

Quadro 2 - Lista de materiais circuito de dados por luz.

Quantidade	Material	Valor médio unitário (R\$)
02	Caixa de acrílico	12,00
02	Interruptor liga/desliga	2,50
02	Bateria 9V com conector	13,90
02	Conector P2 fêmea	2,50
01	LASER	2,00
01	LED receptor IR ³³	2,00
02	Resistor 150 Ω	0,70
03	Resistor 1k Ω	0,80
01	Resistor 10k Ω	0,80
02	Capacitor 0,47 μ F	0,50
03	Transistor	0,50
02	Cabo P2-P2	10,00
01	Caixa de som	40,00

Fonte: elaboração própria em 2023.

³² Rede Óptica Passiva Gigabit. Disponível em: <https://www.inatel.br/biblioteca/todo-docman/pos-seminarios/seminario-de-redes-e-sistemas-de-telecomunicacoes/iii-srst/9475-rede-gpon-conceito-e-aplicacoes/file>. Acesso em: 31/01/2023.

³³ Infrared Radiation (Radiação Infravermelha). Disponível em: [https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/infrared-radiation#:~:text=Infrared%20radiation%20\(IR\)%2C%20sometimes,than%20those%20of%20radio%20waves.](https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/infrared-radiation#:~:text=Infrared%20radiation%20(IR)%2C%20sometimes,than%20those%20of%20radio%20waves.) Acesso em: 31/01/2023.

Ressaltamos que os preços dos produtos relatados no quadro acima são referentes ao período compreendido entre novembro de 2022 e janeiro de 2023, podendo sofrer alterações a depender do período em que se procure comprá-los.

Entre os dispositivos utilizados, destacamos os transistores como peças-chave no sucesso do nosso circuito.

5.3.1 Transistor

É um dispositivo de controle para a passagem de corrente elétrica no circuito, ele pode operar de duas maneiras: chave ou amplificador. Um exemplar do referido dispositivo pode ser visto na figura 25 a seguir.

Figura 25 – Transistor.

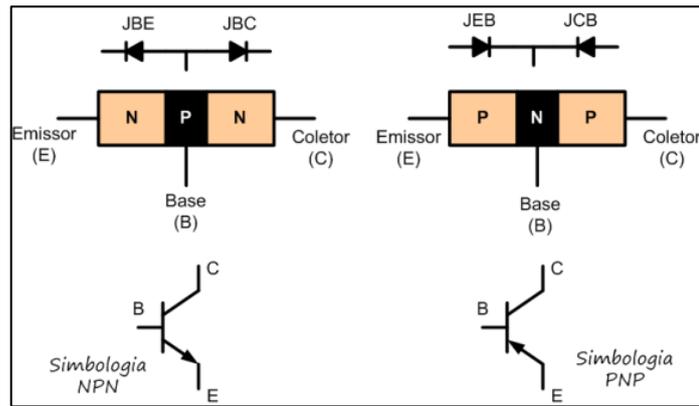


Fonte: curto circuito³⁴.

Estamos utilizando um transistor do tipo TJB (transistor de junção bipolar), cujas junções podem se dar de duas formas: PNP ou NPN. Dependendo das conexões PN, o transistor pode conduzir ou bloquear a corrente elétrica que passa no circuito.

³⁴ Disponível em: <https://curtocircuito.com.br/transistor-bipolar-pnp-bc327.html>. Acesso em: 04/02/2023.

Figura 26 - Simbologia dos transistores NPN e PNP.



Fonte: eltgeral³⁵.

Além da simbologia, a figura 26 mostra a representação dos terminais do transistor, em que C é o coletor, B é a base e E, o emissor. A tensão que é aplicada ao terminal de base controla a corrente entre o coletor e o emissor. O coletor é o terminal por onde a corrente entra e o emissor é o terminal por onde a corrente elétrica que foi controlada sai. (ARNOLD; BRANDT, 1975)

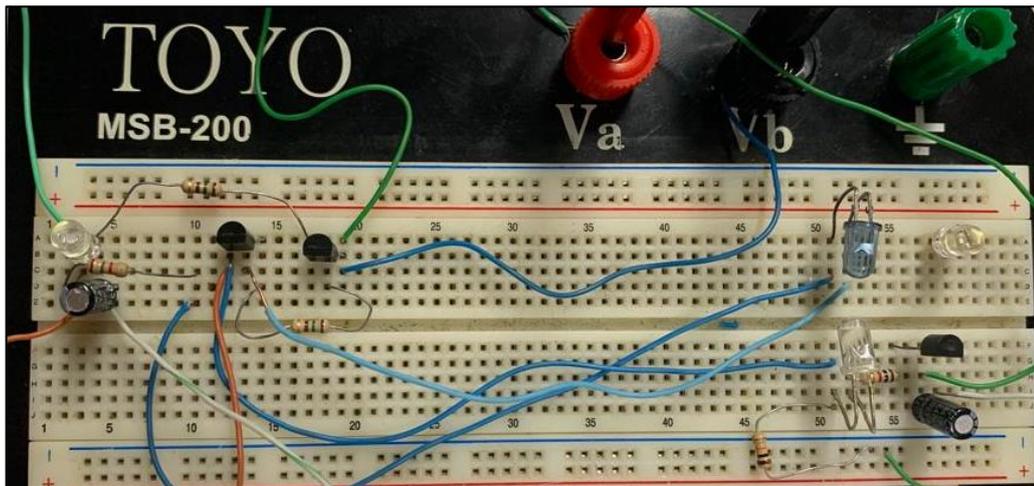
5.3.2 Planejamento dos circuitos

Com o objetivo de gerar uma ferramenta educacional facilmente replicável, pensamos nos componentes que seriam usados para que fossem eficazes, tanto no projeto quanto na execução. Portanto, está representado o desenho e o esquema a ser seguido, dimensionando o circuito para trabalhar com baterias de 9V.

Iniciamos a montagem dos circuitos com o protoboard, placa de testes onde é possível dimensionar se o projeto dará certo (ver figuras 27 e 28).

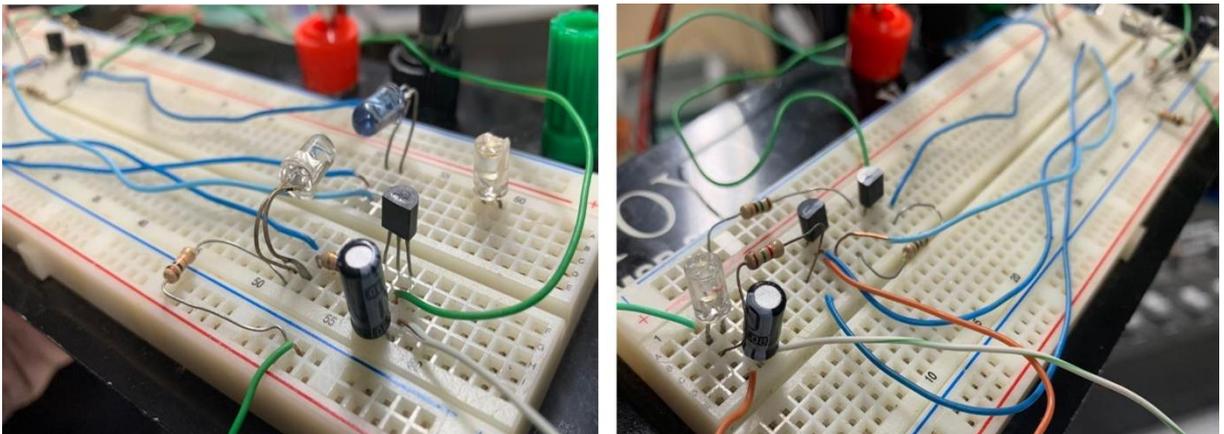
³⁵ Disponível em: <https://eltgeral.com.br/o-que-sao-transistores-e-quais-tipos-mais-usados/>. Acesso em: 04/02/2023.

Figura 27 - Montagem dos circuitos no protoboard.



Fonte: Elaboração própria em 2023.

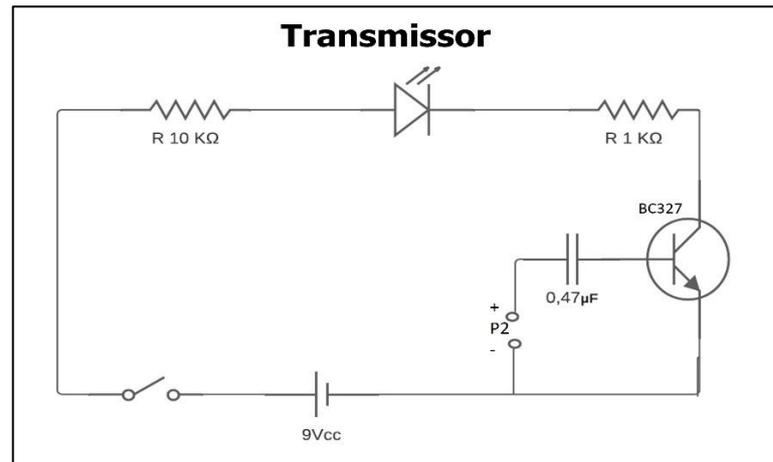
Figura 28 - Detalhamento dos circuitos transmissor e receptor no protoboard.



Fonte: Elaboração própria em 2023.

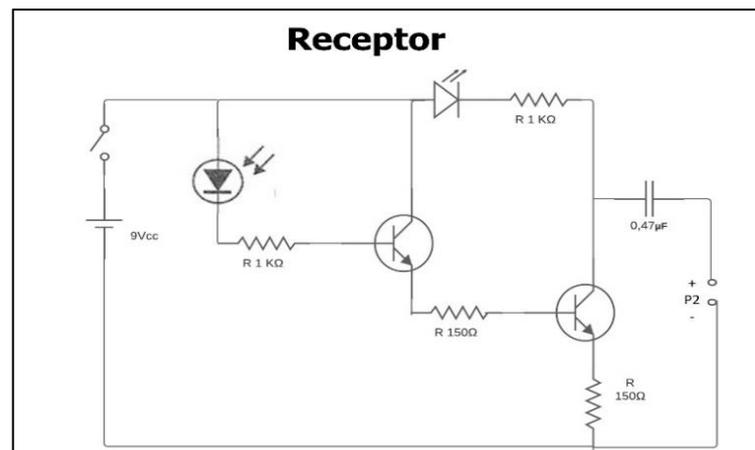
Como pode-se verificar nas figuras acima, nos testes com o protoboard, utilizamos um LED como dispositivo emissor de luz. O intuito no projeto final era utilizar um LASER em substituição ao LED (ver os esquemas nas figuras 29 e 30).

Figura 29 - Esquema circuito Transmissor de dados por luz.



Fonte: Elaboração própria em 2023.

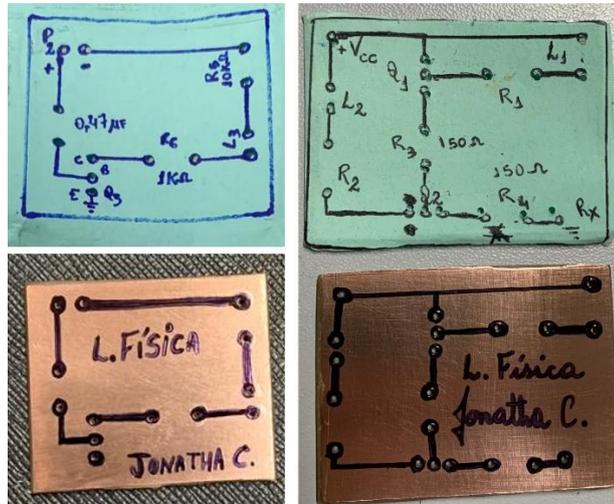
Figura 30 - Esquema circuito receptor de dados por luz.



Fonte: Elaboração própria em 2023.

Agora, passamos da fase de testes no protoboard para a fase de construção das placas dos circuitos, que ficaram da seguinte forma (figura 31).

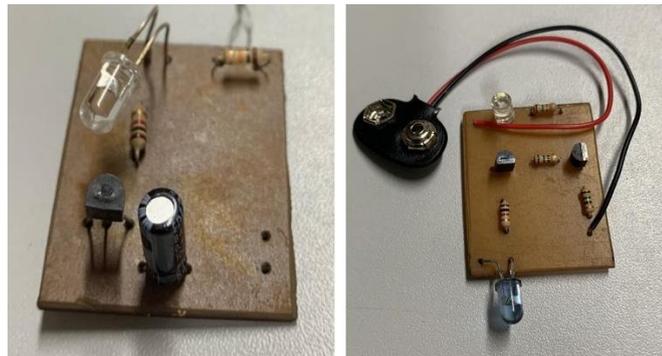
Figura 31 - Montagem circuito: perfuração das placas.



Fonte: elaboração própria em 2023.

Em seguida, utilizando ferro de solda e estanho, foi realizada a soldagem dos componentes nas placas. Como pode ser visto na figura 32, a seguir.

Figura 32 - Montagem circuito: soldagem.



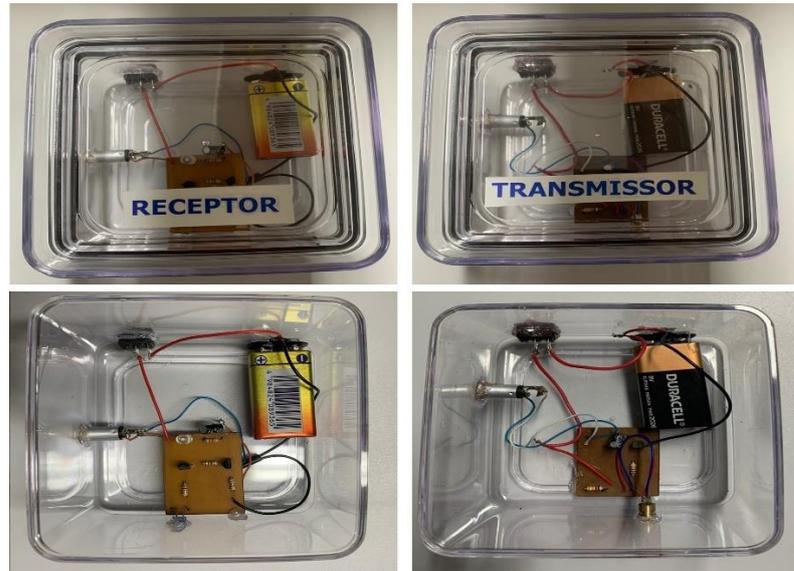
Fonte: elaboração própria em 2023.

Com as placas preparadas, passamos para a fase de montagem final dos circuitos.

5.3.3 Montagem final do circuito básico de dados por luz

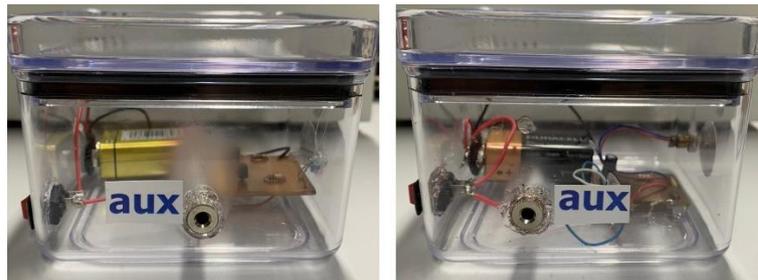
Para a montagem final dos circuitos, utilizamos ferro de solda para moldar as caixas acrílicas e encaixar os componentes que ficariam expostos a parte externa da caixa. O ferro de solda também foi utilizado para melhor fixação dos fios de interligação entre o interruptor liga/desliga e o conector da bateria; assim como do conector P2 à placa. Ao término da montagem, o resultado obtido foram duas caixas acrílicas, contendo o circuito transmissor e o receptor de luz (ver figuras 33, 34 e 35).

Figura 33 - Circuito básico de dados por luz, visão superior.



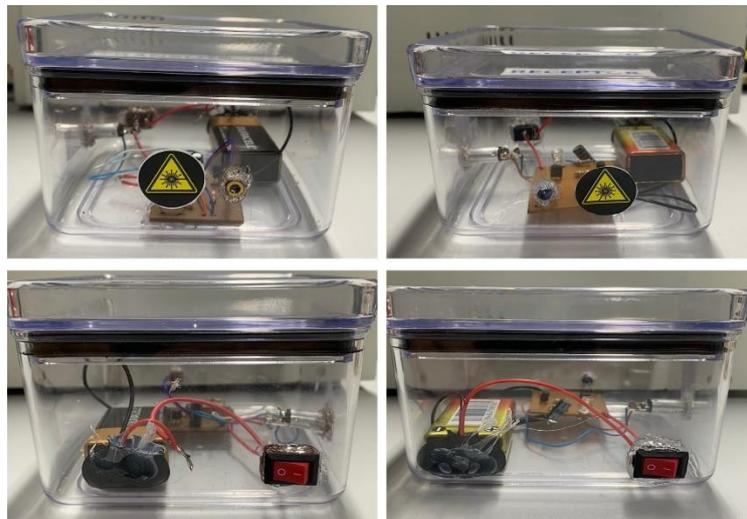
Fonte: elaboração própria em 2023.

Figura 34 - Circuito básico de dados por luz, visão lateral.



Fonte: elaboração própria em 2023.

Figura 35 - Circuito básico de dados por luz, visão frontal/traseira.



Fonte: elaboração própria em 2023.

Por fim, a proposta para este circuito é que possamos verificar a possibilidade de transmitir uma música, tocada a partir de um celular, por exemplo, de uma caixa para outra usando a luz como meio de transmissão.

Da mesma forma que no caso do experimento da garrafa de Tyndall, imprevistos podem acontecer e o circuito básico não funcionar corretamente na prática. Então, também preventivamente e como forma de auxílio posterior para elaboração de relatórios sobre a prática, um vídeo contendo a experiência do circuito básico de dados por luz é fornecido através do código QR abaixo.

Figura 36 - Experimento circuito básico de dados por luz.



Fonte: elaboração própria em 2023.

A seguir, apresentaremos a produção da proposta de aula expositiva.

6 APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Esta seção descreve a proposta de sequência didática para aplicação do produto educacional desta monografia. Com o intuito de agregar valor ao que o aluno já conhece, conforme proposto por Ausubel, utilizaremos simulações por computador, apresentação de videoaula, bem como uso dos experimentos produzidos como base para a aproximação dos saberes dos alunos ao conteúdo a ser abordado, além da descoberta de novas situações que estão contidas em seu dia a dia.

Por se tratar de uma proposta, o professor que se basear no presente documento pode efetuar as alterações e adaptações que discernir cabíveis para o melhor desempenho do seu fazer docente.

6.1 Unidade didática

- ✓ **Tema:** óptica geométrica.
- ✓ **Número de aulas:** consideramos em estimativa, para essa unidade didática, a quantidade de quatro aulas de quarenta e cinco minutos (45 min) cada. Essas quatro aulas serão utilizadas como dois encontros de noventa minutos (90 min) cada.
- ✓ **Objetivo geral:** realizar encontros expositivos sobre fibra óptica associando-os aos conceitos de óptica geométrica.
- ✓ **Objetivos específicos:** aplicar a definição de luz; demonstrar a Lei de Snell-Descartes; Reflexão interna total e introduzindo a estrutura do cabo de Fibra Óptica usado em Telecomunicações e demonstrar como a comunicação via luz ocorre.
- ✓ **Conteúdos:** reflexão; Refração; Reflexão interna total.
- ✓ **Avaliações:** as avaliações ocorrerão no final de cada encontro.

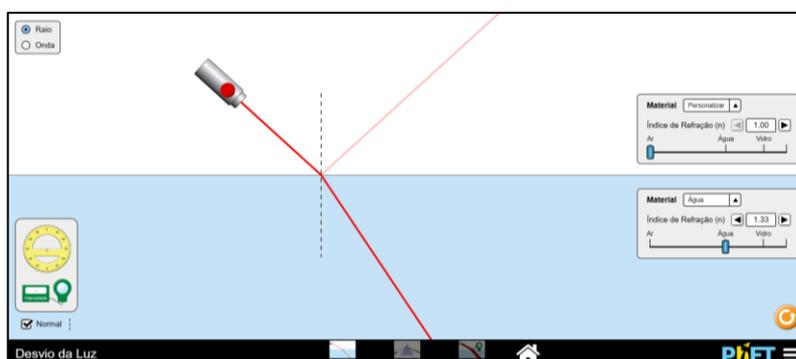
6.1.1 Encontro 1

Através de uma contextualização, falando sobre o uso cada vez mais frequente das mídias sociais e da necessidade que temos de estar constantemente conectados, começaríamos a introduzir os alunos na temática da aula. Com isso, seria lançada a seguinte pergunta: O que é a fibra óptica?

Nesse momento seria aberta uma ampla discussão, colhendo as respostas dadas e, a partir daí, daríamos início com a explanação da definição da luz.

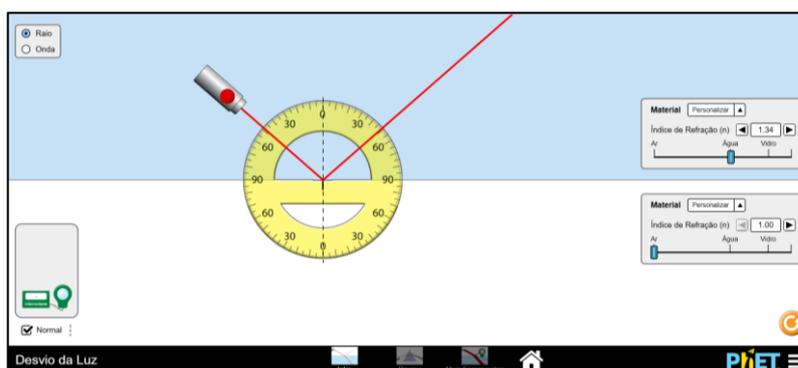
Após termos definido a luz, através do laboratório virtual PhET³⁶, introduziríamos os conceitos de reflexão e refração (Lei de Snell-Descartes) da luz nos meios de propagação (ver figura 37) e demonstrando, também, a reflexão interna total da luz (ver figura 38).

Figura 37 - Fenômenos ópticos: refração e reflexão da luz.



Fonte: PhET (2023).

Figura 38 - Fenômeno óptico: reflexão interna total da luz.



Fonte: PhET³⁷.

Ao finalizar a aquisição do saber a respeito da reflexão interna total da luz, caso fosse possível, seria feito nesse momento, o experimento da garrafa de Tyndall *in loco*³⁸ (ver figura 39). Dessa forma os alunos veriam, na prática, tudo o que foi abordado em teoria até momento. Não sendo possível realizar a prática em conjunto com os alunos, seria transmitida a aula gravada previamente (Figura 23).

³⁶ Physics Education Technology.

³⁷ Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light_pt_BR.html. Acesso em: 23/01/2023

³⁸ [in 'loko] (loc adv) - No local; in situ. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/in%20loco/>. Acesso em: 26/01/2023.

Figura 39 - Experimento - Garrafa de Tyndall.



Fonte: Elaboração própria em 2023.

Dessa forma, chegaríamos ao fim do primeiro encontro. Para tanto, faríamos uma breve retomada dos conteúdos abordados. Como exercício de fixação, pediríamos aos alunos (podendo ser feito em grupos) a reprodução e gravação do experimento da garrafa de Tyndall, sua observação e relatório sobre o ocorrido.

Quadro 3 - Plano de proposta expositiva: encontro 1.

Aulas / Tempo	Conteúdos	Atividades a serem realizadas	Objetivo	Método de avaliação
01 e 02 90 min.	Reflexão; Refração; Reflexão interna total.	Apresentação e discussão do conteúdo usando o PhET; Prática (ou mostra do vídeo) da garrafa de Tyndall; Discussão e esclarecimento de dúvidas.	Revisar os conceitos de óptica geométrica destacados nos conteúdos.	Contínuo no decorrer do encontro; Reprodução da prática, apresentação e relatório do experimento de garrafa de Tyndall.

Fonte: Elaboração própria em 2023.

6.1.2 Encontro 2

Iniciariamos a aula com uma retomada do que fora abordado no encontro anterior (encontro 1). Logo após, seguiríamos para uma explanação sobre o cabo de Fibra Óptica (ver figura 39); a história de seu surgimento; as aplicações e a montagem do cabo utilizado em telecomunicações.

Nesse momento, será usado o painel demonstrativo (Figura 24) para que os alunos tivessem uma maior noção do que está por trás de toda a capacidade de comunicação que temos atualmente. Também, uma breve comparação com o cabo Coaxial, para que seja possível com

maior eficácia a concretização das vantagens conquistadas através do uso da fibra óptica como meio de transmissão de dados.

Figura 40 - O cabo óptico.



Fonte: SCNET³⁹.

Mesmo com todo o aparato projetado para o mais eficaz esclarecimento possível a respeito da tecnologia em questão, ainda fica abstrato como é possível que texto, música, vídeo, foto se transformem em luz para poder “viajar” na fibra óptica.

Por esse motivo, construiu-se o circuito básico de dados por luz (Figuras 33, 34 e 35), mostrando no esquema gráfico do circuito (figuras 29 e 30) as etapas seguidas para construção dele.

Embora seja de simples confecção e com materiais de fácil acesso e baixo custo, o referido circuito não está necessariamente proposto para construção por parte dos alunos. Com ele, pode-se mostrar uma música sendo transmitida de um ponto a outro através de um feixe de LASER, contribuindo para uma melhor observação e retenção dos conteúdos abordados.

Por fim, como ferramenta de avaliação dos alunos, seria pedido um relatório com as observações feitas por eles a respeito do que foi explanado e a utilidade para que compreendessem o conteúdo objeto deste estudo, culminando em apresentação de seminários para sistematização conjunta de toda a turma. Além disso, o comprometimento, interesse e participação seriam continuamente avaliados no decorrer dos encontros.

³⁹ Disponível em: <https://scnet.com.br/novidade/voce-sabe-o-que-e-e-como-funciona-a-fibra-optica>. Acesso em: 23/01/2023.

Quadro 4 - Plano de proposta expositiva: encontro 2.

Aulas / Tempo	Conteúdos	Atividades a serem realizadas	Objetivo	Método de avaliação
03 e 04 90 min.	Reflexão; Refração; Reflexão interna total.	Apresentação do painel demonstrativo; Explicação sobre a montagem do cabo óptico; Explicação sobre a comunicação por luz com o circuito básico de dados por luz; Discussão e esclarecimento de dúvidas.	Revisar os conceitos de óptica geométrica destacados nos conteúdos; Expor o cabo óptico e sua tecnologia; Apresentar o circuito básico de dados por luz.	Contínuo no decorrer do encontro; Relatório do painel demonstrativo e circuito básico de dados por luz. Apresentação de seminário.

Fonte: Elaboração própria em 2023.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho de conclusão de curso foi apresentado uma proposta de aula expositiva sobre fibra óptica, sua Ciência e Tecnologia, aplicada ao Ensino Médio e Tecnológico, visando contribuir com o aumento e utilização de experimentos em sala de aula. Assim, esperamos auxiliar o desenvolvimento da interação professor-aluno e estimular a aplicação prática em tantos conteúdos quanto for possível na física e na tecnologia.

Durante a aplicação desta aula expositiva, é possível perceber os fenômenos, sejam eles naturais ou tecnológicos, que envolvem o estudo da óptica geométrica com o uso dos aparatos experimentais sugeridos nesta monografia: garrafa de Tyndall, painel demonstrativo do cabo de fibra óptica e circuito básico de dados por luz. Logo, ajudando a conhecer a história, a criação, a evolução e a usabilidade da fibra óptica. Também, o uso e a dependência da fibra óptica nas telecomunicações atualmente.

Por ainda não ter sido aplicado a aula expositiva, os aparatos experimentais produzidos podem sofrer alterações necessárias e, em breve, obtermos dados que nos permitam incrementar o trabalho aqui realizado e desenvolver artigos, novos aparatos experimentais e fomentar a produção de uma dissertação de mestrado.

Por fim, almejamos que a utilização da proposta de aula expositiva aqui contida contribua para a ampliação do foco e do interesse dos alunos para com as aulas a serem ministradas. Pois, verdadeiramente, acreditamos que a proposta tem uma maior aproximação dos conceitos físicos aos fatos da realidade que vivemos, impulsionando a capacidade cognitiva dos alunos e reforçando a importância do fazer docente.

REFERÊNCIAS

A Fibra Óptica. Super Interessante, 1989. Disponível em:

<https://super.abril.com.br/tecnologia/a-fibra-otica/>. Acesso em: 14/11/2022

ARNOLD, R.; BRANDT, H. Eletrônica Industrial. São Paulo: EPU, 1975. v. 10.

As diferenças entre os tipos de fibra óptica. HT Cabos. 2021. Disponível em:

<https://htcabos.com.br/en/news/as-diferencas-entre-os-tipos-de-fibra-optica-2/>. Acesso em: 28/01/2023.

As Fibras Ópticas, o Sensor CDD e o Prêmio Nobel de Física (PNF) de 2009.

CURIOSIDADES DA FÍSICA. Disponível em: <https://seara.ufc.br/wp-content/uploads/2019/03/folclore276.pdf>. Acesso em: 14/12/2022.

AUSUBEL, D. P. The acquisition and retention of knowledge. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000.

AUSUBEL, David P. A aprendizagem significativa. São Paulo: Moraes, 1982.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D. HANESIAN, H. Psicologia Educacional. Rio de Janeiro: Interamericana Ltda., 1980.

BONJORNO, Cliton. Temas de física. São Paulo: FTD, v.1, 2000.

Brasil. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. Parâmetros Curriculares Nacionais + (PCN+): Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Brasília: MEC, 2002.

Cadernos de apoio à aprendizagem. Estudantes Educação (Ba.gov). 2021. Disponível em:

<http://estudantes.educacao.ba.gov.br/system/files/private/midiateca/documentos/2021/unid32seriefisicaem11062021.pdf>. Acesso em: 04/02/2023.

Características da Propagação em Fibras Ópticas. Inatel. Disponível em:

<https://www.inatel.br/revista/busca/217-caracteristicas-da-propagacao-s227918-1/file>. Acesso em: 03/02/2023.

Código de cores em fibras ópticas. Infra News Telecom. 2019. Disponível em:

<https://www.infranewstelecom.com.br/codigo-de-cores-em-fibras-opticas/>. Acesso em: 29/01/2023.

- Conectorização de Cordões e Cabos Ópticos. Mundifibra. Disponível em: <https://www.mundifibra.com.br/cordoes-e-cabos-opticos1.html>. Acesso em: 30/01/2023.
- Conheça as fases de produção do cabo óptico. HT Cabos. 2021. Disponível em: <https://htcabos.com.br/en/news/conheca-as-fases-de-producao-do-cabo-optico-2/>. Acesso em: 30/01/2023.
- Decibel - O que é? Quais suas aplicações?. Embarcados. 2016. Disponível em: <https://embarcados.com.br/o-que-e-decibel/>. Acesso em: 22/01/2023.
- Desvio da luz, PhET. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light_pt_BR.html. Acesso em: 23/01/2023.
- DWDM: mux, transponder, oxc. Teleco. Disponível em: https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialdwdm/pagina_3.asp. Acesso em: 06/02/2023.
- EISBERG, Robert; RESNICK, Robert. Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 1979.
- Ensino-aprendizagem de óptica geométrica através de uma sequência didática vygotskyana. UNB, 2019. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/download/25852/22710/51574>. Acesso em: 18/06/2022.
- Espectro Eletromagnético. InfoEscola. Disponível em: <https://www.infoescola.com/fisica/espectro-eletromagnetico/>. Acesso em: 01/02/2023.
- Extrusão. Michaelis On-line. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/extrusao>. Acesso em: 30/01/2023.
- Fabricação da Fibra Óptica. FIBRACEM, 2018. Disponível em: <https://www.fibracem.com/como-e-feita-a-fabricacao-de-fibra-optica/>. Acesso em: 28/01/2023.
- Fibra óptica: como funciona e por que é mais rápida e estável? Online Telecom. 2022. Disponível em: <https://onlinetelecom.com.br/hidrolandia/blog/1>. Acesso em: 05/02/2023.
- Fibras ópticas e WDM. GTA UFRJ, 2008. Disponível em: https://www.gta.ufrj.br/grad/08_1/wdm1/Histria.html. Acesso em: 12/11/2022.
- Física: ciência e tecnologia / Carlos Magno A. Torres... [et al.]. – 4 ed. – São Paulo: Moderna, 2016.
- GASPAR, A.; Compreendendo a Física: Ondas, Óptica e Termodinâmica. vol. 2, 1ª ed. São Paulo: Editora Ática, 2010.
- Gigabit Passive Optical Network. Inatel. 2015. Disponível em: <https://www.inatel.br/biblioteca/todo-docman/pos-seminarios/seminario-de-redes-e-sistemas->

[de-telecomunicacoes/iii-srst/9475-rede-gpon-conceito-e-aplicacoes/file](#). Acesso em:

31/01/2023.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. Fundamentos de Física. 10^a. ed. Rio de Janeiro: Moderna, v. 4, 2016.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. Fundamentos de Física. 8^a. ed. Rio de Janeiro: Moderna, v. 4, 2009.

Heron de Alexandria, quem foi? História, principais invenções e legado. Conhecimento científico. 2023. Disponível em: <https://conhecimentocientifico.com/heron-de-alexandria/>
Acesso em: 18/01/2023.

História da fibra óptica. Inforrede. Disponível em:

<https://www.google.com/url?q=https://www.inforrede.com.br/historia-da-fibra-optica/&source=gmail&ust=1671035844535000&usg=AOvVaw18IG8YMRS8g2T1Qzv8kB>
[Ae](#). Acesso em: 14/11/2022.

In loco. Michaelis On-line. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/in%20loco/>. Acesso em: 26/01/2023.

Lazer ou laser: qual a diferença? Stoodi. Disponível em:

<https://www.stoodi.com.br/guias/dicas/lazer-ou-laser-qual-e-a-diferenca/>. Acesso em: 26/01/2023.

LED - O que é, e como funciona. dicas (unicamp.br). Light-Emiting Diode (Diodo Emissor de Luz). Disponível em: <https://hosting.iar.unicamp.br/lab/luz/dicasemail/led/dica36.htm>. Acesso em: 04/02/2023.

Leis da refração da luz. WikiCiências. Disponível em:

https://wikiciencias.casadasciencias.org/wiki/index.php/Leis_da_refra%C3%A7%C3%A3o_da_luz. Acesso em: 04/02/2023.

Loose. Michaelis On-line. Disponível em:

<https://michaelis.uol.com.br/palavra/AY8Y3/loose/>. Acesso em: 29/01/2023.

Mercado de Fibras Ópticas. Agilcor. Disponível em: <https://agilcor.com.br/produtos-e-mercados/mercado-de-fibras-opticas/>. Acesso em: 30/01/2023.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

MOREIRA, M. A. O que é afinal aprendizagem significativa? Revista cultural La Laguna Espanha, 2012. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/oqueefinal.pdf>. Acesso em: 28/01/2023.

PEA-5716. PEA-5716 Aula 03 2016. 2016. Disponível em:

https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2273344/mod_resource/content/2/PEA-5716%20-%20Aula%2003%202016.pdf. Acesso em: 29/01/2023.

PET Polietileno Tereftalato: Síntese e Aplicações – Transformação de Plástico (Resina PET).

Plástico.com.br. 2016. Disponível em: <https://www.plastico.com.br/pet-sintese-e-aplicacoes-transformacao/>. Acesso em: 26/01/2023.

Preforma de fibra ótica. CHINA FASTEN. Disponível em:

<http://www.chinafasten.com.cn/pt/optical-fiber-preform/>. Acesso em: 11/01/2023.

Reflexão Total - Sala de Demonstrações de Física. UFMG. Disponível em:

<http://demonstracoes.fisica.ufmg.br/artigos/ver/84/7.-Reflexao-Total>. Acesso em: 04/02/2023.

SALVETTI, A. R.; A história da luz. 2ª ed. São Paulo, Editora Livraria da Física, 2008.

Samuel Morse. Wikipedia. 2019. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Samuel_Morse
Acesso em: 22/01/2023.

TORRES, C. M. A. et al. Física: ciência e tecnologia. 4. V.2. ed. São Paulo: Moderna, 2016.

Transistor Bipolar PNP - BC327 | Componentes Eletrônicos e Arduino. Curto Circuito.

Disponível em: <https://curtocircuito.com.br/transistor-bipolar-pnp-bc327.html>. Acesso em: 04/02/2023.

Um pouco de luz na história – Breve histórico a Fibra Óptica. Blog IPV7, 2018. Disponível

em: <https://www.blog.ipv7.com.br/historia/um-pouco-de-luz-na-historia-fibra-optica/>. Acesso em: 17/12/2022.

Você conhece o código de cores de fibras ópticas? 2flex. Disponível em:

<https://2flex.com.br/voce-conhece-o-codigo-de-cores-de-fibras-opticas/>. Acesso em: 30/01/2023.

Você sabe o que é e como funciona a fibra óptica. SCNET. 2020. Disponível em:

<https://scnet.com.br/novidade/voce-sabe-o-que-e-e-como-funciona-a-fibra-optica>. Acesso em: 23/01/2023.

What is the difference between Loose Tube and Tight Buffered cables? WB Networks. 2020.

Disponível em: <https://wbnetworks.com.au/blog/optical-fibre-cable-structures>. Acesso em: 29/01/2023

XAVIER, C.; BENIGNO, B.; Física aula por aula. vol. 2, 1ª ed. São Paulo; Editora FTD, 2010. XAVIER, C.; BENIGNO, B.; Física aula por aula. vol. 3, 1ª ed. São Paulo; Editora FTD, 2010.