



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

**UTILIZANDO UM FENÔMENO FÍSICO PARA MEDIR O DIÂMETRO DE UM
FIO DE CABELO**

MARINA APARECIDA FERREIRA DE OLIVEIRA

MARINGÁ
2016



UTILIZANDO UM FENÔMENO FÍSICO PARA MEDIR O DIÂMETRO DE UM FIO DE CABELO

Marina Aparecida Ferreira de Oliveira

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF) - Polo UEM, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Breno Ferraz de Oliveira

Maringá
Novembro de 2016

**UTILIZANDO UM FENÔMENO FÍSICO PARA MEDIR O DIÂMETRO DE UM
FIO DE CABELO**

MARINA APARECIDA FERREIRA DE OLIVEIRA

Orientador:
Prof. Dr. Breno Ferraz de Oliveira

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF) – Polo UEM, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Aprovada por:

Prof. Dr. Breno Ferraz de Oliveira
DFI/UEM

Profa. Dra. Roseli Constantino Schwerz
UTFPR – Campus Campo Mourão

Prof. Dr. Ronaldo Celso Viscovini
DCI/UEM – Campus Goioêre

Maringá/PR
Novembro/2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá, PR, Brasil)

O48u

Oliveira, Marina Aparecida Ferreira de
Utilizando um fenômeno físico para medir o
diâmetro de um fio de cabelo / Marina Aparecida
Ferreira de Oliveira. -- Maringá, 2016.
60, 38 f. : il. color., figs.

Orientador: Prof. Dr. Breno Ferraz de Oliveira.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Maringá, Centro de Ciências Exatas, Departamento de
Física, Programa de Pós-Graduação em Mestrado
Nacional Profissional em Ensino de Física, 2016.

1. Diâmetro. 2. Difração por obstáculo. 3. Física
- Ensino médio. 4. Ensino de física. I. Oliveira,
Breno Ferraz, orient. II. Universidade Estadual de
Maringá. Centro de Ciências Exatas. Departamento de
Física. Programa de Pós-Graduação em Mestrado
Nacional Profissional em Ensino de Física. III.
Título.

CDD 21.ed.530.07

ECSL

Dedico este trabalho ao meu
filho Vinícius Ferreira de Oliveira.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus pelos dons recebidos, pela presença onipotente em todos os momentos.

Meus sinceros agradecimentos ao meu orientador Breno Ferraz de Oliveira, pelo seu apoio e orientação em todas as fases deste trabalho, pelas sugestões, correções, motivação e incentivo. Obrigada por me aceitar como orientanda e fazer parte desta trajetória.

Quero agradecer também todos os professores do Mestrado no Ensino de Física da UEM – Universidade Estadual de Maringá, pelos seus ensinamentos que muito contribuíram para meu crescimento e aperfeiçoamento nesta área.

Agradeço também a amiga Maria pelo incentivo, bem como ao professor Luciano Gonsalves da Costa pelas sugestões e ao professor Ronaldo Celso Viscovini pelo apoio. E também aos secretários do Mestrado profissional: Paulo Alberto e Tatiana Aparecida Furuzawa.

Meus agradecimentos ao meu filho Vinícius, pelo seu carinho para comigo, que me inspira e me faz buscar novas possibilidades e crer num futuro promissor.

Aos meus pais pelo incentivo e apoio em toda minha carreira acadêmica, e meu esposo pelo apoio e compreensão em todos os momentos. E a todos que torceram para que eu conseguisse atingir os objetivos. Meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

UTILIZANDO UM FENÔMENO FÍSICO PARA MEDIR O DIÂMETRO DE UM FIO DE CABELO

Marina Aparecida Ferreira de Oliveira

Orientador:
Breno Ferraz de Oliveira

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) – Polo UEM, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Muitos alunos concluem o Ensino Médio sem compreender plenamente para que servem e onde podem ser utilizados os conceitos de Física. Algumas vezes, uma aplicação permite um aprendizado mais significativo com relação aos conceitos desta disciplina. No presente trabalho, sugere-se uma sequência didática, na qual os alunos devem resolver o problema de medir a espessura de um fio de cabelo utilizando uma régua. Nesta sequência, os conceitos de onda e difração são abordados e aplicados para solução do problema proposto. Além disso, o estudo da conversão de unidades e da álgebra faz-se necessário, tornando este um trabalho interdisciplinar. Os kits recebidos pelas escolas estaduais do Paraná podem ser utilizados para realização do experimento, que pode ser aplicado aos alunos do 3º ano do Ensino Médio.

Palavras-chave: diâmetro, difração por obstáculo, aprendizagem

Maringá
Novembro de 2016

ABSTRACT

USING A PHENOMENON FOR PHYSICAL MEASURING DIAMETER OF A HAIR WIRE

Marina Aparecida Ferreira de Oliveira

Supervisor(s):
Breno Ferraz de Oliveira

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF) – Polo UEM, in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

Many students finish high school without fully understanding what they are and where the physical concepts can be used. Sometimes an application enables a more meaningful learning about the concepts of this discipline. In this study, a didactic sequence is suggested in which students must solve the problem of measuring the thickness of a hair using a ruler. In this sequence, the concepts of wave and diffraction are discussed and applied to solve the problem proposed. Moreover, the study of conversion units and algebra is necessary, making this an interdisciplinary work. The kits received by state schools of Paraná can be used for the experiment, which can be applied to the students of the 3rd year of high school.

Keywords: diameter, diffraction barrier, learning

Maringá
November 2016

SUMÁRIO

Capítulo 1 INTRODUÇÃO	2
Capítulo 2 ASPECTOS HISTÓRICOS DA ÓPTICA FÍSICA E AS PRIMEIRAS IDEIAS SOBRE O FENÔMENO DA DIFRAÇÃO	6
Capítulo 3 A FONTE LASER E SUAS APLICAÇÕES NA CIÊNCIA E NA TECNOLOGIA	9
Capítulo 4 O FENÔMENO DA DIFRAÇÃO	14
4.1 Difração e Princípio De Huygens	14
4.2 Difração e a Lei Da Bragg	19
Capítulo 5 A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL	24
5.1 Os subsunçores da aprendizagem significativa	25
5.2 Os tipos de aprendizagem significativa	28
Capítulo 6 A FUNÇÃO DA EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA	30
Capítulo 7 UMA PROPOSTA EXPERIMENTAL PARA O ENSINO DE DIFRAÇÃO	32
7.1 Aula teórica preparatória para realização do experimento	32
Capítulo 8 RESULTADOS OBTIDOS DA APLICAÇÃO DO PRODUTO.....	38
8.1 Questões e respostas dos alunos as questões prévias a realização do experimento:	39
8.1.1 <i>A ideia inicial dos alunos quanto a espessura do fio de cabelo e como medi-lo</i>	39
8.1.2 <i>O que os aprendizes entendiam por ondas</i>	41
8.1.3 <i>A noção dos alunos sobre laser</i>	44
8.2 Questões e respostas dos alunos ao questionário posterior ao experimento	46
8.2.1 <i>O valor encontrado para a espessura do fio de cabelo medido</i>	47
8.2.2 <i>Diferenciando onda sonora da luminosa e a noção de comprimento de ondas</i>	49
8.2.3 <i>Variando os valores</i>	51
8.2.4 <i>Testando o experimento com novas distâncias</i>	53
8.3 Observações gerais a respeito da aplicação	55
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
ANEXO	60

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

Ensinar Física de forma que os alunos se sintam envolvidos e possam estabelecer relações com situações e fenômenos do seu cotidiano é um desafio para muitos professores, que precisam buscar alternativas que tornem o ensino mais contextualizado, dinâmico e envolvente. Neste sentido, fazer com que os alunos compreendam que a mesma está presente no meio em que vivem, seja na tecnologia dos celulares, nos aparelhos eletrônicos, no funcionamento de uma máquina hidráulica, na energia elétrica que chega a suas residências, e em muitas outras situações.

Em relação ao atual panorama da Física, Luz (2008) ressalta que os estudantes estão envolvidos e rodeados por um desenvolvimento tecnológico e científico que influencia toda a sociedade. Assim, o ensino de Física, deve estabelecer relações com o cotidiano dos alunos, e a escola não pode estar alheia a esses avanços tecnológicos. A desconexão do ensino de Física com a realidade tem preocupado muitos pesquisadores, o autor mencionado, ainda, questiona e reforça esta visão:

[...] E a escola, o que tem feito para mudar este quadro? Nossa resposta é que a escola necessita tornar-se mais participativa na comunidade a qual está inserida e buscar aprimorar os processos de reflexão, assim como, sua capacidade de intervir no processo de ensino-aprendizagem da comunidade escolar. Além dos conteúdos oferecidos pela escola tradicional estarem distantes e disponibilizarem pouca conexão com a realidade individual e social dos estudantes, onde são apresentados dentro de rígidas fronteiras disciplinares, os métodos e estratégias de ensino desenvolvido pela escola levam o estudante à passividade e ao desinteresse. (LUZ, 2008, p. 19).

Esse quadro demonstra a necessidade de repensar o ensino de Física. É preciso buscar alternativas para que os aprendizes percebam a presença dos conceitos físicos em diversas situações vivenciadas por eles, levando em consideração as ideias iniciais e a interpretação dos alunos sobre um determinado fenômeno, conceito, incentivar a imaginação e descoberta de novos significados.

Por isso, busca-se com este trabalho realizar uma prática experimental, permitindo aos alunos verificarem que a Física pode ser usada para resolver problemas, tais como, medir a espessura de um fio de cabelo fazendo uso de instrumentos cotidianos. Para solução deste problema, o aluno deve reunir os

conceitos físicos de ondas (difração e princípio de Huygens) e conversão de unidades, razão e proporção, entre outros.

O fenômeno de difração faz parte do estudo da óptica, dos fenômenos ondulatórios. Estes, muitas vezes, são deixados de lado no Ensino Médio, como afirma Cavalcante e Tavoraro, ao dizer que “...é notória a pouca importância atribuída aos fenômenos ondulatórios no ensino médio” (CAVALCANTE; TAVOLARO, 2001, p. 299).

Ressalta-se, a necessidade de um trabalho diferenciado em relação aos fenômenos ondulatórios, destacando sua importância no ensino da Física. Além disso, mostrar sua relação com os fenômenos do cotidiano dos alunos, que passam despercebidos, e que percebam que a ciência está sempre em evolução.

A Física enquanto uma construção humana e histórica, trouxe grandes avanços científicos e tecnológicos para a humanidade. Esses avanços favoreceram diversas áreas, como a indústria, o comércio e a medicina, com a descoberta dos raios-X, laser e muitas outras invenções.

Sobre a ciência e as teorias da Física, Einstein e Infeld afirmam que:

A ciência não é apenas uma coleção de leis, um catálogo de fatos não relacionados entre si. É uma criação da mente humana, com seus conceitos e ideias livremente inventados. As teorias físicas tentam formar um quadro da realidade e estabelecer sua conexão com o amplo mundo das impressões sensoriais. (EINSTEIN; INFELD, 2008, p. 241).

A ciência, não pode ser vista como algo certo e acabado, não passível de mudança, pelo contrário, teorias podem ser alteradas, conforme vão surgindo outras. Algo válido hoje, poderá não ser amanhã. No entanto, o que se busca é estabelecer uma relação da teoria com a realidade dos fenômenos observados, e assim, compreender o mundo em que se vive.

Ainda neste contexto, Luz, fazendo algumas considerações sobre o ensino de ciências, destaca que:

[...]sabe-se que na maioria das escolas, de todos os níveis, ainda se mantém um ensino que prioriza a mera transmissão de conhecimentos, geralmente fragmentado e de forma mecânica. Esta tradição dificulta o uso das teorias e modelos produzidos para a compreensão dos fenômenos naturais e sociais, além de caracterizar a Ciência como um produto acabado e inquestionável, além de ignorar as transformações sociais que estão acontecendo. (LUZ, 2008, p. 22).

Em muitas escolas ainda predomina essa visão sobre o ensino de Ciências e de Física. Mesmo com diversas pesquisas nessa área, com propostas diferenciadas, essas não colocadas em práticas e muitas vezes não chegam a sala de aula.

De acordo com os (PCN - Parâmetros Curriculares Nacionais) do Ensino Médio, o ensino de Física não tem ocorrido de acordo com o que se espera, uma vez que:

[...]Enfatiza a utilização de fórmulas, em situações artificiais, desvinculando a linguagem matemática que essas fórmulas representam de seu significado físico efetivo. Insiste na solução de exercícios repetitivos, pretendendo que o aprendizado ocorra pela automatização ou memorização e não pela construção do conhecimento através das competências adquiridas. Apresenta o conhecimento como um produto acabado, fruto da genialidade de mentes como a de Galileu, Newton ou Einstein, contribuindo para que os alunos concluam que não resta mais nenhum problema significativo a resolver. Além disso, envolve uma lista de conteúdos demasiadamente extensa, que impede o aprofundamento necessário e a instauração de um diálogo construtivo. (PCNEM - Parte III, 2000, p. 22)

A citação acima reforça o que já foi abordado, ou seja, o ensino de Física vem ocorrendo de forma descontextualizada, sem que o aluno entenda realmente como um fenômeno ocorre, sem saber onde aplicar os conhecimentos físicos. Faz-se imprescindível repensar a maneira como deve ocorrer o ensino dessa disciplina, promovendo um conhecimento contextualizado e interdisciplinar. Incentivar a autonomia, para que o aluno saiba reconhecer e utilizar a linguagem da física para resolver problemas do seu cotidiano, além de desenvolver o caráter investigativo.

Uma forma de tentar resolver o problema da descontextualização é desenvolver um trabalho de maneira interdisciplinar. Neste sentido, estabelecer estratégias de ensino relacionando conteúdos da Física a outras matérias, como por exemplo, com a Matemática e com o Inglês, facilitará a compreensão e a aprendizagem dos tópicos envolvidos.

A palavra interdisciplinar tem várias definições. De acordo com Nardi (2014) pode ser entendida como a forma que um professor universitário leciona na graduação na formação do professor da educação básica; podendo ser entendido ainda, como uma proposta para solucionar um problema na pesquisa no ensino de ciências.

Sobre o sentido de interdisciplinaridade, o autor ainda destaca um terceiro, “[...] como o fundamento de correntes pedagógicas que se embasam em conhecimentos de diversas disciplinas para orientar reformulações de estratégias de ensino” (NARDI, 2014, p. 23).

Neste caso, uma matéria colabora com a outra no processo de ensino aprendizagem. Nas Diretrizes Curriculares para o Ensino de Física, as relações interdisciplinares são estabelecidas quando: Os conceitos, teorias ou práticas discutidas em uma disciplina auxiliam na compreensão do conteúdo de outras; quando um objeto de estudo pode ser melhor compreendido e enriquecido com uma abordagem mais ampla por meio de referenciais teóricos de outras disciplinas. Destacando ainda que:

No ensino dos conteúdos escolares, as relações interdisciplinares evidenciam, por um lado, as limitações e as insuficiências das disciplinas em suas abordagens isoladas e individuais e, por outro, as especificidades próprias de cada disciplina para a compreensão de um objeto qualquer. Desse modo, explicita-se que as disciplinas escolares não são herméticas, fechadas em si, mas, a partir de suas especialidades, chamam umas às outras e, em conjunto, ampliam a abordagem dos conteúdos de modo que se busque, cada vez mais, a totalidade, numa prática pedagógica que leve em conta as dimensões científica, filosófica e artística do conhecimento. (DCE_s Física, 2008, p. 27).

As leituras indicam, que trabalhar de forma interdisciplinar favorece o ensino, uma vez que, conteúdos de uma disciplina colaboram para a outra. No ensino de Física o conhecimento de diversos conceitos da matemática são fundamentais, uma vez que esta é uma linguagem que permite expressar leis, elaborar modelos.

Não esquecendo que cada disciplina tem suas particularidades, mas que ambas enriquecem ainda mais o ensino se bem articuladas. No Ensino de Física, as concepções matemáticas não podem ser consideradas um pré-requisito para entender os conteúdos desta disciplina. No entanto, é essencial que os estudantes apropriem-se do conhecimento físico, sem dispensar o formalismo matemático.

Neste trabalho serão utilizados de maneira interdisciplinar questões da matemática para ensinar/solucionar problemas de Física como a conversão de unidades e também conceitos de razão e proporção. Buscando assim inter-relacionar os conhecimentos adquiridos e estabelecendo estratégias para atingir os objetivos, promovendo uma articulação entre as matérias envolvidas. A abordagem utilizada está de acordo com a proposta por Nardi (2014), na qual por meio do conhecimento de outras disciplinas se estabelecem estratégias de ensino para ensinar uma outra.

Capítulo 2

ASPECTOS HISTÓRICOS DA ÓPTICA FÍSICA E AS PRIMEIRAS IDEIAS SOBRE O FENÔMENO DA DIFRAÇÃO

A óptica é um dos ramos da Física que tem contribuído para grandes avanços em diversos ramos como a astronomia, engenharia, medicina.

O estudo da óptica permitiu compreender a luz. Estuda a propagação da luz e suas interações com a matéria. Para se chegar aos instrumentos e aplicações da óptica existentes nos dias atuais, um grande caminho histórico foi percorrido.

Segundo Zilio (S/D)¹, antes do século XVII, poucas coisas eram conhecidas sobre óptica. Apenas algumas lentes e espelhos, cujas teorias para explicá-los ainda não estavam definidas. No século XVII houve avanços nesta área, por meio da matemática e com a explicação dos fenômenos observados até então.

Nesta mesma época, Hans Lippershey, um fabricante de óculos, inventou em 1608, um telescópio refrativo. Depois, em 1610 Galileu Galilei construiu seu próprio telescópio, descobrindo, assim, as luas de Júpiter e os anéis de Saturno. Surgiram outras invenções, como o telescópio Kepleriano e o microscópio de Zacharias Janssen. No entanto, a maior contribuição para a óptica veio com Snell, que introduziu a lei dos senos, seguida da elaboração da Lei de Snell por Rene Descartes, em 1637, por meio de uma formulação matemática baseada em ondas.

Na segunda metade do século XVII, ocorreram descobertas a respeito da óptica ondulatória, Zilio (S/D) coloca que:

O fenômeno de difração foi descoberto por Francesco Maria Grimaldi (1618-1663), através da observação de bandas de luz na sombra de um bastão iluminado por uma pequena fonte. Em seguida, Robert Hooke (1635-1703) refez os experimentos de Grimaldi sobre difração e observou padrões coloridos de interferência em filmes finos. Ele concluiu, corretamente, que o fenômeno observado devia-se à interação entre a luz refletida nas duas superfícies do filme e propôs que a luz originava-se de um movimento ondulatório rápido no meio, propagando-se a uma velocidade muito grande. (ZILIO, s.d., p. 4)

Com as observações e descobertas de Grimaldi, primeiro a postular a teoria da natureza ondulatória luz, surge a ideia dos fenômenos de difração e interferência. Newton também contribuiu nesta área, desenvolvendo a teoria corpuscular e ao

¹ Zilio (S/D): no material não consta data da edição.

desvendar a composição da luz branca quando realizou experimento com um prisma. Christiaan Huygens, procurou interpretar a natureza ondulatória da luz, que explicava fenômenos como a interferência e a difração, estabeleceu o Princípio de Huygens e definiu as Leis da Refração e Reflexão.

Rocha argumenta que:

[...] já no século XVII se tinha conhecimento de cinco fenômenos considerados básicos na Óptica: reflexão, refração, difração, interferência e polarização. Os fenômenos de difração e interferência, que são tipicamente ondulatórios, são hoje estudados pela Óptica Física, a partir do conceito de onda luminosa. (ROCHA, 2002, p. 213).

Segue que a difração é um fenômeno consequente da natureza ondulatória da luz e suas características podem ser explicadas pelo Princípio de Huygens. Já a reflexão e refração são fenômenos explicados pela Óptica Geométrica, que supõem que a luz se propaga em linha reta.

A difração da luz foi descoberta pelo físico Francesco M. Grimaldi (1618-1663), descrito num livro publicado dois anos após sua morte. Possivelmente este fenômeno não tenha sido evidenciados antes devido aos efeitos pequenos, que dificultavam a observação.

De acordo com Rocha (2002), ao fazer experimentos com um feixe de luz branca passando por dois orifícios estreitos colocados um atrás do outro, Grimaldi notou que quando a luz atingia o anteparo era possível observar uma região iluminada. Para ele, a luz curvava-se ao passar pelos orifícios, ele também realizou experimentos na qual a luz contornava os obstáculos. Tais fenômenos foram chamados de difração.

Nussenzveig, sobre o fenômeno observado por Grimaldi e o conceito de difração traz o seguinte:

“Esses desvios da propagação retilínea da luz foram chamados de *difração*, nome ligado a “deflexão” dos raios luminosos. Nesse sentido genérico, tanto pode aplicar-se à passagem através de uma abertura como ao “espalhamento” por um obstáculo.” (NUSSENZVEIG, 1998, p. 83).

Essa definição evidencia a difração como uma característica da teoria ondulatória. Ocorre uma divergência da luz em relação a sua linha na trajetória inicial.

Rocha (2002) destaca que, apesar de acreditar na teoria corpuscular, Newton se interessou pela descoberta de Grimaldi e realizou seus próprios experimentos sobre a difração. O experimento consistia em deixar a luz do sol entrar por um pequeno orifício e chegar até um papel. Entre as observações feitas por Newton, está

que a sombra formada por um objeto interceptando parte da luz deveria ser diferente se a luz se propagasse em linha reta. Tais resultados foram publicados no livro *Óptica*, em 1704, no qual eram vistos a sua credibilidade na teoria corpuscular e objeção a teoria ondulatória.

Somente no início do século XIX, a partir dos trabalhos de Fresnel, e das concepções de Huygens é que foram esclarecidas tais questões. Chegou-se a uma explicação sobre a propagação retilínea da luz, Rocha, cita que um dos pontos destacados por Fresnel é que:

[...] a difração da luz se torna cada vez menos pronunciada à medida que as dimensões da abertura (diâmetro de um orifício circular, largura de uma fenda retangular, etc.) se tornam progressivamente maiores que o seu comprimento de onda. Para aberturas suficientemente grandes, os efeitos da difração são desprezíveis. (ROCHA, 2002, p. 228).

Logo, o efeito da difração torna-se mais evidente, se observado em experimentos com pequenas aberturas como fendas, obstáculos pequenos e que sejam proporcionais ao comprimento de onda da luz.

Oliveira et al., argumenta que:

O entendimento do fenômeno de difração da luz por pequenos obstáculos (furos, fendas, etc.) foi fundamental no desenvolvimento do que conhecemos hoje como rede de difração, dispositivo muito utilizado em espectroscopia óptica para realizar a decomposição espectral da luz. (OLIVEIRA, et al., 2015, p. 452).

Compreender este fenômeno ocasionou um grande avanço científico e permitiu ainda que redes de difração fossem fabricadas. Sobre redes de difração, Serwey e Jewett Jr. dizem: “Esta rede, um útil dispositivo para a análise de fontes de luz, consiste em um grande número de fendas paralelas igualmente espaçadas.” (SERWEY, JEWETT JR., 2012, p. 107). Essa rede permite analisar os componentes da onda, como o comprimento de onda, e os máximos associados a este.

Capítulo 3

A FONTE LASER E SUAS APLICAÇÕES NA CIÊNCIA E NA TECNOLOGIA

A invenção do laser pode ser considerada revolucionária, uma das mais fascinantes da humanidade, presente na tecnologia moderna da fibra ótica, dos leitores de códigos de barras, entre várias outras aplicações. As primeiras ideias sobre o laser surgiram com Einstein, quando propôs o conceito de radiação estimulada ou emissão estimulada de luz.

Décadas depois um professor da Universidade da Columbia, Charles Townes anuncia o MASER (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation) que quer dizer Amplificação de Microondas por Emissão Estimulada de Radiação. No entanto, Townes tentava criar um aparelho que emitisse luz visível, entretanto, mais difícil de amplificar. Com a ajuda de Arthur Schawlow investiu no desenvolvimento do Maser Óptico.

Segundo Figueira e Dias (2005), Gordon Gould em 1957, teve uma ideia de como resolver o problema de estimulação da luz visível, em suas anotações introduziu o termo “L” Laser no lugar do “M” do Microwave. No entanto, Gordon imaginava que para patentear precisava criar o Laser, apenas autenticou o caderno em cartório, sem saber que podia registrar a ideia, quando resolveu fazer isso, descobriu que Townes e Schawlow já tinham registrado.

Por volta de 1960, Theodore Maiman opera o primeiro laser de rubi, emitindo luz vermelha, que consistia de uma barra de rubi (cristal transparente), envolvida por um tubo *flash* contendo gás que emite luz.

Somente em 1987, Gould conseguiu os direitos sobre a patente. Neste período a tecnologia dos lasers de Gould estava sendo amplamente utilizado, tanto na indústria, quanto na medicina.

De acordo com Bagnato, o laser surgiu a partir da ideia do átomo, definido por Dalton como uma “minúscula partícula, indestrutível, podendo combinar-se e produzir diferentes espécies de matéria”, depois por Rutherford após experimentos como: *“...constituído de uma parte central, que foi denominada núcleo. Esse caroço central apresenta uma carga elétrica positiva. O tamanho desse núcleo seria bastante pequeno em relação ao tamanho do átomo (de 10.000 a 100.000 vezes maior)”*

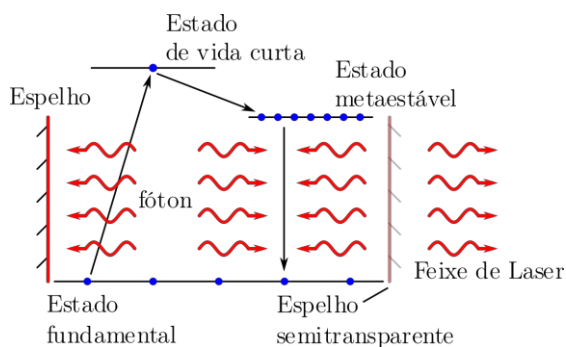
(BAGNATO, 2001, p. 5). Logo depois Niels Bohr explicou a energia dos elétrons a partir das ideias de Planck, surgindo a ideia dos fótons.

O laser funciona como uma fonte de luz, com características e propriedades que o tornam muito utilizado em instrumentos tecnológicos e também científicos. Tem como uma de suas propriedades a questão de ser monocromático, quer dizer, tem comprimento de onda específico. É coerente, pois, um fóton estimula outro, ou seja, a emissão dos fótons transcorre em fase e de maneira colimada, com feixes estreitos, paralelos, sendo emitidos numa determinada direção, ocorrendo um mínimo de dispersão.

Zilio (S/D) destaca que “... A natureza especial deste tipo de radiação eletromagnética tornou a tecnologia laser uma ferramenta vital em quase todos os aspectos da vida diária, incluindo comunicações, diversão, fabricação, e medicina”. (ZILIO, s.d., p. 209)

A fonte laser produz feixes de luz concentrados, e um intenso feixe de fótons por meio de emissão estimulada. O princípio básico de funcionamento de um Laser, consiste em fornecer energia para um material, que usa essa energia para tirar os seus elétrons do estado fundamental e colocar em um nível mais energético. Esses elétrons acabam decaindo para um nível de energia metaestável. Nesse caso temos a chamada inversão de população. Um fóton, como energia igual da diferença de energia entre o estado metaestável e o estado fundamental, pode estimular a emissão de fótons idênticos devido ao decaimento dos elétrons do estado metaestável para o estado fundamental. A figura 1 ilustra o esquema da emissão estimulada. O espelho semitransparente serve para que alguns fótons retornem e continuem a estimular a emissão.

Figura 1: Desenho esquemático do funcionamento de um Laser.



Fonte: Própria autora

Existem vários tipos de laser, os mais conhecidos são o de rubi, o de gás e o de semicondutor. No **Laser de rubi** o componente principal deste é o rubi, minério composto de átomos de alumínio, oxigênio e cromo, apresenta coloração avermelhada.

Tipler traz que uma das características do laser a rubi é que uma extremidade do cristal com 100% de reflexão, sendo completamente espelhada, e a outra extremidade acopladora, parcialmente espelhada e 85% refletora. Assim:

Quando os fótons se deslocam paralelamente ao eixo do cristal atingem as extremidades espelhadas, todos são refletidos na parte de trás e 85% são refletidos na parte da frente, com 15% dos fótons escapando através da face frontal parcialmente espelhada. (TIPLER, 2006, p. 372).

Ao passar pelos cristais, os fótons estimulam mais átomos e emitem um feixe de luz intenso a partir da extremidade espelhada. Os feixes duram poucos segundos, mas a energia envolvida nesse processo é intensa.

No **Laser a Gás** os principais elementos são os gases Hélio e Neônio, numa composição de 15% e 85%, respectivamente. Nesse tipo de laser os átomos de hélio são excitados por descargas elétricas até atingirem um estado acima do fundamental, colidem com os átomos de neônio e excitam alguns deles, ocorre inversão da população e a emissão de fótons estimula outros átomos a emitir fótons.

Os **Lasers de semicondutor – lasers a diodo ou lasers de junção**, são lasers de tamanho pequeno e de custo acessível. Um dos mais utilizados na produção da fonte laser, em equipamentos de CD e DVD e como apontadores em apresentações.

O funcionamento dos lasers semicondutores tem aspectos semelhantes aos lasers a gás He-Ne. Com exceção que se deve incorporar as bandas de energia. Serway e Jewett Jr (2014) destacam que o **Diodo de junção** “[..]é um dispositivo baseado na junção simples p-n” (2014, p. 291). A camada *p* contém cargas positivas e a camada *n* cargas negativas. A junção **pn** permite a passagem de corrente em apenas uma direção, ou seja, um único sentido para a corrente.

Cavalcante, explica:

Quando aplicamos uma diferença de potencial na zona de depleção (junção dos materiais p e n) ocorre uma troca de cargas entre os materiais dando origem a uma corrente de elétrons e uma corrente de lacunas. Durante esta troca existe uma recombinação entre elétrons e lacunas. Para que um elétron recombinasse com uma lacuna é necessário que ele caia para a banda de valência, neste processo o elétron perde energia que é liberada sob a forma de um fóton (CAVALCANTE, 1999, p. 158).

Assim, estabelece-se um equilíbrio com a difusão de elétrons para o lado p e das lacunas para o lado n . O laser de semicondutor atuando em altas correntes, produz uma inversão de população permitindo que aconteça a emissão estimulada.

O GREF – Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, define a fonte Laser como:

A fonte laser (light amplification by simulated emission of radiation – amplificação da luz estimulada por radiação) é basicamente constituída de uma fonte de energia (bombeador), em geral uma lâmpada de descarga, que excita átomos ou moléculas (meio), no interior de uma cavidade ressoadora. (GREF, 2005, p. 324).

Na Mecânica Quântica, o GREF (2005), destaca que as radiações visíveis ou não, são constituídas de fótons (pacotes de energia). O funcionamento dos lasers e a produção de luz nos mesmos se baseia na hipótese de emissão estimulada, no qual um fóton incide sobre o átomo e estimula a produção de um fóton idêntico, caso haja um elétron com energia de excitação correspondente a do fóton incidente.

Segundo Bagnato:

“[...] a luz do laser provém justamente da emissão que ocorre quando elétrons decaem de seus níveis energéticos de forma estimulada, produzindo um feixe de luz onde todas as pequenas porções (fótons) comportam-se identicamente”. (BAGNATO, 2001, p. 7)

Isto acontece porque os fótons são emitidos por meio do decaimento para um nível de energia menor. Este decaimento que permite obter os lasers.

Bagnato (2001) ressalta que a monocromaticidade da luz laser ocorre porque a energia do fóton estimulante é igual a energia do fóton emitido, por essa razão ao observar uma luz laser percebe-se apenas uma linha, uma só cor, um único comprimento de onda. Alguns lasers têm altas intensidades, devido à potência dos feixes, como nos lasers pulsados em que a energia acumulada é emitida num curto intervalo de tempo.

Suas características e propriedades permitem detectar com precisão o Efeito Doppler, a absorção e o espalhamento, e ainda na identificação de vazamento de óleos e outros poluentes, no estudo das células biológicas, na espectroscopia, na leitura do código de barras.

O laser tem várias aplicações como o uso para cortar, soldar, também na medicina, nas cirurgias a laser, nas telecomunicações por meio de fibras ópticas. Nas medições de grandes distâncias, através do alinhamento e pela reflexão de um pulso

laser a partir de um espelho, servindo como por exemplo, para medir a distância até a lua, mecanismo muito utilizado neste caso.

No ensino de Física, os lasers são utilizados principalmente em experimentos e demonstrações da óptica física, Catelli, argumenta que:

[...] com alguma teoria, poderemos fazer dele um instrumento de medida realmente impressionante. Será possível medir o diâmetro de fios, a abertura de fendas e pequenos orifícios, o número de linhas de CDs, o número de linhas em fitas de controle dos cartuchos de algumas impressoras jato de tinta, telas de serigrafia e outras façanhas que você mesmo poderá inventar. (CATELLI, 2004, p. 321).

Logo, os Lasers são considerados um instrumento de grande utilidade, principalmente no estudo da óptica. No entanto, para que as medidas realizadas com os mesmos possam ser mais precisas, torna-se essencial conhecer o comprimento de onda (λ) do laser, geralmente informado no próprio equipamento pelo fabricante.

Nos conteúdos de óptica, os Lasers são utilizados principalmente em experimentos sobre difração da luz. Neste caso, utilizam-se lasers devido as suas propriedades de ser monocromático e coerente, o que evita que ocorra dispersão, daí o porquê utilizar este tipo de luz no experimento de difração.

Capítulo 4

O FENÔMENO DA DIFRAÇÃO

4.1 Difração e Princípio De Huygens

Para entender como ocorre o fenômeno da difração, recomenda-se primeiramente compreender o conceito de ondas. Como exemplo de ondas temos a formação de círculos quando uma pedra é jogada em uma poça de água, ocasionando uma perturbação que dão origem as ondas. Temos também, as ondas causadas por meio de pulsos em uma corda, as ondas sonoras, eletromagnéticas, entre outras. No entanto, as ondas transportam energia, mas não transportam matéria.

Quando as ondas contornam obstáculos, como por exemplo, as ondas do mar contornam pedras, barcos, lanchas; o som da TV pode ser escutado em outro ambiente sem ser o que nós estamos, isto ocorre porque as ondas estão desviando, ou seja, estão sofrendo *difração*. Esse fenômeno da difração verifica-se tanto em ondas mecânicas, quanto em ondas eletromagnéticas.

Os exemplos mais usuais de ondas mecânicas são as do mar, da corda (pulsando), as sísmicas e as sonoras, tais ondas necessitam de um meio material para se propagar. A luz visível, a radiação ultravioleta, os raios-x, são exemplos de ondas eletromagnéticas. Elas não precisam de meio material para se propagar e consistem de um conjunto de campos elétricos e magnéticos, perpendiculares entre si, que se propagam a velocidade da luz.

As ondas sonoras, são ondas mecânicas, que se propagam no ar. Halliday (2009) as define como uma onda longitudinal, citando algumas aplicações científicas para essas ondas, como por exemplo: são usadas como sondagem para localizar petróleo, navios usam para detectar submarinos.

Mas afinal, o que são ondas transversais e longitudinais? Para entender as ondas transversais, tomemos como exemplo ondas mecânicas, como as de uma corda, na forma de pulsos que se propagam ao longo da mesma. Estas sobem e descem, ocorrendo somente na transversal, é perpendicular à direção de propagação da onda, daí o nome de ondas transversais.

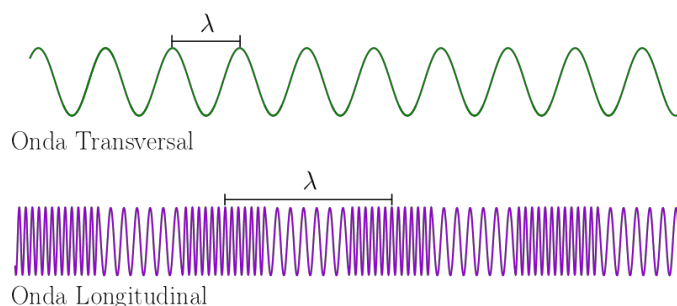
Tipler, explica o caso das ondas na corda, causadas por perturbações:

[...] quando uma corda esticada é tocada o pulso produzido se propaga através da corda, como uma onda. A perturbação, nesse caso, é uma

mudança na corda a partir de sua posição de equilíbrio original. A propagação surge graças a interação de cada segmento da corda com os segmentos adjacentes. Os segmentos da corda (meio físico) se movem na direção perpendicular à corda, conforme o pulso nela se propaga para cima e para baixo. (TIPLER, 2006, p. 523).

Já quando a direção de propagação é paralela a perturbação, ocorrem ondas longitudinais, como por exemplo as ondas sonoras. As ondas longitudinais tem a direção de oscilação dos corpos, ocorrendo para frente e para traz. Como exemplo cita-se uma mola helicoidal, onde o movimento ocorre na direção de propagação. A figura 2 traz uma representação das ondas transversal e longitudinal.

Figura 2: Representação esquemática de uma onda transversal (figura acima) e de uma onda longitudinal (figura abaixo).



Fonte: Própria autora

A velocidade com que essas ondas se propagam depende do meio, podendo ser, por exemplo, a água ou o ar, e essa diferença na propagação em função do meio é denominada *refração*. Quando se está em um ambiente em que os sons produzem eco, está ocorrendo *reflexão*. As ondas possuem algumas características que permitem identifica-las, tais como a propagação, a frequência e o comprimento de onda.

Quando a luz se difrata, apresenta comportamento característico de uma onda. Logo, a difração é um fenômeno ondulatório, podendo ocorrer em diversos tipos de ondas eletromagnéticas. No entanto, daremos ênfase a difração da luz visível. Esta acontece quando ela passa por uma fenda estreita, e também quando passa por um obstáculo pequeno.

No momento em que uma frente de onda sofre um bloqueio parcial por um obstáculo, a parte não bloqueada sofre um desvio, dando origem ao fenômeno de difração.

Algumas diferenças são estabelecidas em relação à difração da luz visível e às ondas sonoras. A observação do fenômeno da difração depende do comprimento de

onda, uma vez que se este for grande em relação ao tamanho da fenda o efeito da difração é maior, oportunizando que seja melhor observado. Se o comprimento de onda é pequeno, a difração é menor.

Tipler, ressalta que:

Uma vez que os comprimentos de onda dos sons audíveis (faixa que varia desde uns poucos centímetros até diversos metros) são geralmente grandes quando comparados às dimensões das fendas e dos obstáculos comuns (portas ou janelas, e pessoas, por exemplo), pode-se frequentemente observar o fenômeno da difração das ondas sonoras. Por outro lado como os comprimentos de onda da luz visível (4×10^{-7} a 7×10^{-7} m) são muito pequenos quando comparados com as dimensões de objetos comuns e fendas, a difração da luz não é notada facilmente; à primeira vista, a luz parece se propagar em linha reta. (TIPLER, 2006, p. 545).

Pelo motivo dos comprimentos de ondas sonoras serem grandes, os efeitos da difração ficam mais evidentes, notáveis, fazendo que seja possível ouvir as pessoas conversando do outro lado do muro, ouvir um sino tocar a alguns quilômetros de distância. O mesmo não ocorre com a luz, uma vez que esta tem comprimentos de onda pequenos.

De acordo com GREF *“A difração da luz só pode ser percebida quando esta atravessa fendas de dimensões muito pequenas, e isso se deve ao fato de seu comprimento de onda também ser muito pequeno.* (GREF, 2005, p. 218).

Sabe-se que tal fenômeno é observado somente quando o comprimento de onda é proporcional ao obstáculo ou fenda. Por isso, é possível visualizar a difração da luz, quando esta for incidida em objetos / obstáculos de diâmetros pequenos, como é o caso do fio de cabelo.

Ao atravessar uma fenda, além do fenômeno da difração, tem-se a possibilidade de ocorrer o fenômeno de interferência, sendo possível notar, neste caso, regiões claras e escuras. Serwey e Jewett (2014) ao especificarem este fenômeno, argumentam que essas regiões são chamadas de padrão de difração.

Um padrão de difração, de acordo com os autores, são obtidos, quando uma luz de laser for projetada para passar por uma fenda estreita ou um obstáculo e for refletida numa tela ou anteparo. Isto possibilita que se observem regiões claras e escuras. Portanto, o padrão de difração consiste de uma faixa central clara e intensa (máximo central) ao lado de uma série de faixas mais estreitas e menos intensas (máximos laterais ou secundários) e por faixas escuras (mínimos).

Para o GREF :

[...] O surgimento dessas regiões é explicado pela não existência de ondas reemitidas em quantidade suficiente para recompor toda a frente incidente. As novas ondas reemitidas se propagam, atingindo certos pontos do espaço em fase (regiões claras) e outros pontos, defasadas (regiões escuras). (GREF, 2005, p. 219)

As regiões claras e escuras descritas pelo autor são observadas em experimentos, nas chamadas figuras de difração, onde as regiões claras ou iluminadas representam a parte atingida pela luz que contornou o obstáculo. As regiões escuras constituem as partes não atingidas pela radiação, ou seja, a luz foi interceptada pelo obstáculo.

Sobre estas regiões Einstein e Infeld dizem:

Suponha-se que temos uma folha de papel escuro com dois furos de alfinete através dos quais a luz pode passar. Se os furos estiverem juntos e forem muito pequenos, e se a fonte de luz homogênea for suficientemente forte, aparecerão sobre a parede muitas faixas claras e escuras, desvanecendo gradativamente dos dois lados para o fundo escuro. A explicação é simples. Uma faixa escura é onde a cava de uma onda de um dos furos se encontra com a crista de uma onda com outro furo, de forma que as duas se anulam. Uma faixa iluminada é onde duas cavas ou duas cristas se encontram e se reforçam. (EINSTEIN; INFELD, 2008, p. 102).

O fenômeno relatado pelos autores é o da difração, que ocorre quando um obstáculo intercepta a luz, ou quando esta passa por uma fenda. Explicando ainda o porquê das partes claras e escuras na figura de difração formada neste acontecimento. De acordo com os autores: *“A luz só revela a sua natureza ondulatória quando são usados obstáculos e aberturas muito pequenas”*. (EINSTEIN; INFELD, 2008, p. 101).

Dessa forma, para se observar a difração da luz é necessário que o tamanho dos obstáculos sejam comparáveis ao do comprimento de uma onda luminosa. Na difração, portanto, quanto menor a largura da fenda, maior é o espalhamento ou alargamento causado pela difração.

Para compreender melhor a difração, que acontece quando a onda encontra um obstáculo, faz-se primordial introduzir o conhecimento sobre óptica ondulatória, descrita por meio do Princípio de Huygens. A primeira pessoa a apresentar uma teoria satisfatória para a luz foi o físico holandês Huygens, em 1678. Uma teoria matemática simples e que permitiu explicar as leis da refração e da reflexão, além de se utilizar de uma construção geométrica que tornou possível prever onde estará uma frente de onda em qualquer momento.

Einstein e Infeld ressaltam que para Huygens a luz é uma onda, na qual há transferência de energia, mas não de substância. Tal observação foi feita quando comparou que as ondas formadas na água espalham-se.

Nussenzveig, destaca que, Huygens teria sido motivado pelas observações feitas num tanque com água. Nesse tanque, formavam ondas na sua superfície, no qual, uma frente de onda atingindo uma barreira com um furo, formava do outro lado ondas circulares, isto porque a frente que não estava obstruída funcionava como uma fonte puntiforme. Logo:

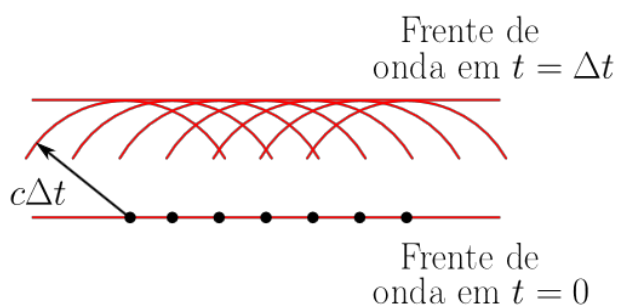
Dada um frente de onda inicial, Huygens propõe uma construção geométrica para obter a frente de onda num instante posterior: considera-se todas as ondas secundárias emanadas de pontos da frente de onda inicial não obstruídos por obstáculos. A frente de onda no instante posterior é a envoltória dessas ondas secundárias. (NUSSENZVEIG ,1998, p. 4).

Segundo este princípio, cada ponto do meio de propagação é um reemissor de novas ondas com mesmo comprimento e frequência da onda de origem, e quando se propagam ocupam posições perpendiculares ao raio da onda. Hallyday, sobre o Princípio de Huygens diz o seguinte:

“Todos os pontos de uma frente de onda se comportam como fontes pontuais de ondas secundárias. Depois de um intervalo de tempo t a nova posição da frente de onda é dada por uma superfície tangente a essas ondas secundárias”. (HALLYDAY, 2009 p. 77).

A figura 3 ilustra esse princípio, na qual, uma onda plana no vácuo, no tempo zero, apresenta vários pontos, de onde se originam as ondas. E depois de um certo intervalo de tempo surgem novas fontes pontuais de ondas secundárias, a partir dos pontos iniciais.

Figura 3: Representação do Princípio de Huygens, no qual cada ponto da onda da origem a uma nova frente de onda.



Fonte: Própria autora

Bechara et. al. explicam este princípio em outras palavras:

[...] uma vez perturbado, cada ponto do meio se comporta como uma fonte puntiforme. Essa fonte puntiforme emite ondas em todas as direções e, no vácuo, ou em meio homogêneo não dissipativo, a propagação se dá em todas as direções com a mesma velocidade. Assim, a fonte puntiforme gera uma onda esférica. Os raios da onda esférica tem a direção radial com origem na fonte, representada por um ponto, e as frentes de onda são superfícies esféricas concêntricas com a fonte. (BECHARA, 2014, p. 144).

Os autores destacam ainda tópicos importantes a respeito do princípio de Huygens, o primeiro é a frequência, que segundo eles independente do meio em que ela se propaga, continuando a mesma da onda de origem. E um segundo ponto: a velocidade, cuja onda secundária tem a mesma velocidade da que a originou.

4.2 Difração e a Lei Da Bragg

O fenômeno da difração também ocorre com os raios-X, que são ondas eletromagnéticas com comprimento de onda muito curtos. Os raios-X foram descobertos por Roentgen em 1895, apresentam comportamento semelhante ao da luz visível. Laue, em 1912, observando um monocristal de Sulfato de Cobre explicou o fenômeno da difração desses raios.

Segundo Napolitano, a difração tem várias aplicações na ciência, cujas implicações:

[...] sustentam o arcabouço teórico das técnicas difratométricas como, por exemplo, a cristalografia de raios X. É um assunto bem conhecido de todos que estudam fenômenos ondulatórios, sendo abordado por vários livros texto e ilustrado por diversas experiências de Química e/ou Física. Pode ser utilizada para explicar desde a localização dos máximos e mínimos na experiência de fenda única até a descrição de padrões observados em sólidos cristalinos quando expostos à radiação X (NAPOLITANO, 2004, p. 3).

Tal fenômeno portanto, é aplicado também aos raios-X, e assim como a difração da luz, a difração de raios-X pode ser explicada pelo Princípio de Huygens, já especificado anteriormente. O Cristal observado por Laue é visto como uma rede de difração tridimensional. Segundo Napolitano (2004), quando os Bragg estudaram os sólidos cristalinos tinham a intenção de determinar as características estruturais destes a partir dos padrões de difração.

O autor ressalta que:

[...] o trabalho dos Bragg marca o nascimento da difratometria de raios X, de grande interesse para identificação dos elementos químicos presentes em uma amostra, e o uso da difração para obtenção de estruturas moleculares e cristalinas. Assim como através da difração da luz visível podemos observar as franjas de Young e calcular a separação entre as fendas, também podemos, através da difração de raios X, observar o padrão de difração e reconstruir o retículo associado ao ordenamento dos átomos no cristal. (NAPOLITANO, 2004, p. 7)

O fenômeno da difração permitiu grandes avanços, com o trabalho dos Bragg, definiu-se a equação:

$$2d \sin \theta = m\lambda \text{ para } m = 1, 2, 3, \dots \text{ (Lei de Bragg)}$$

Esta equação de acordo com Halliday (1999 p. 134), é um dos critérios para que a intensidade da difração seja máxima. Da Lei de Bragg, temos que **m** é um número de ordem (inteiro) de um dos máximos de intensidade, **d** corresponde a distância entre os planos, **λ** ao comprimento de onda do feixe de luz e **θ** chamado de ângulo de Bragg.

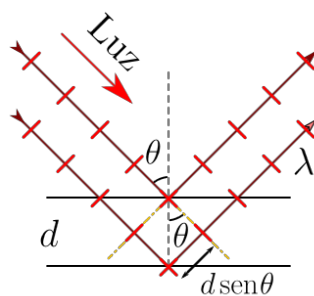
A equação ficou conhecida como Lei de Bragg em homenagem ao físico inglês W. L. Bragg, primeiro a demonstrá-la. W. L. Bragg e seu pai W. H. Bragg receberam o prêmio Nobel da Física em 1915, por estudar a estrutura de cristais com o uso de raios X.

Stariolo, sobre a Lei de Bragg diz que:

Se fazemos incidir um feixe de ondas planas sobre uma estrutura formada por uma série de planos paralelos, as ondas irão refletir nos sucessivos planos e um padrão de interferência será produzido pelas ondas refletidas. Duas ondas sendo refletidas em dois planos separados por uma distância **d** irão sofrer interferência construtiva apenas se a diferença de caminho entre ambas for um número inteiro de comprimentos de onda: $2 d \sin \theta = n \lambda$. (STARIOLO, 2009, p. 5).

Portanto, a Lei de Bragg envolve três variáveis, **d**, **θ** e **λ** . Como pode ser observado na Figura 4.

Figura 4: Reflexão de um feixe de raios-X para dois planos cristalinos. As linhas vermelhas representam a frente de onda e a distância entre elas correspondem a um comprimento de onda λ .



Fonte: Própria autora

Na figura 4, é possível observar que, o padrão de interferência construtiva só será formado se a diferença de caminho entre o feixe refletido na superfície superior e o feixe refletido na superfície inferior, for múltiplo do comprimento de onda do feixe. Isto é, em uma linguagem matemática

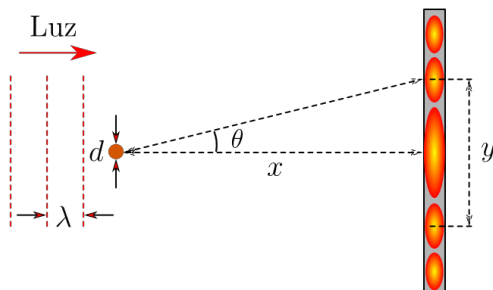
$$2d \sin \theta = m \lambda,$$

onde d é a distância entre o plano, θ é o ângulo que os feixes incidentes fazem com o eixo perpendicular dos planos e m é o número inteiro de múltiplos comprimento de onda λ .

Quando um feixe laser, que consiste em uma luz monocromática, polarizada e coerente, é obstruído por um fio de cabelo, um padrão de interferência também é produzido devido a diferença de caminho. A figura 5 ilustra esse fenômeno.

Da mesma forma como na Lei de Bragg, deve haver uma relação entre as grandezas físicas, presentes na figura 5. Essa relação nos permite encontrar o diâmetro de um fio de cabelo. Para esse propósito, é essencial verificar para qual condição ocorre uma diferença de caminho óptico entre os feixes que passam do lado esquerdo (cima) e direito (baixo) do fio de cabelo.

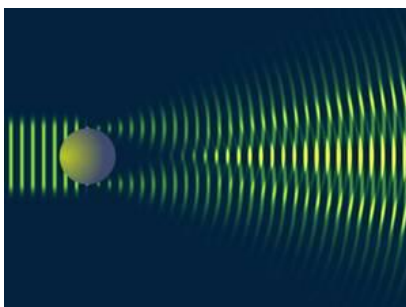
Figura 5: Representação da luz de um laser difratando em um fio de cabelo, com a formação de uma imagem de difração em um anteparo que está uma distância x do fio de cabelo. Na figura, y corresponde a distância entre os primeiros máximos.



Fonte: Própria autora

A figura 6 ilustra o fenômeno de difração da luz. Quando a onda plana atinge o cilindro de diâmetro d há a formação de duas novas fontes de ondas esféricas. Essas ondas surgem devido ao princípio de Huygens. Quando a diferença entre os caminhos dessa duas ondas for de um comprimento de onda, irá ocorrer a formação de um máximo de interferência. Essa diferença de caminho está ilustrada na figura 7.

Figura 6: Representação esquemática da difração da luz em um cilindro.



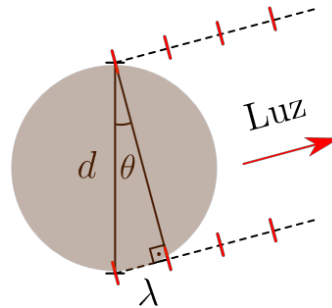
Fonte: Extraída da internet ²

Os traços em vermelho na figura 7 correspondem à frente da onda que está se deslocando para o primeiro máximo de interferência. Como a distância do anteparo até o fio de cabelo, x , é extremamente maior que a espessura do fio de cabelo, d , pode-se tratar esse raios como paralelos. Portanto, a diferença de caminho entre esses dois feixes deve ser (1)

$$\text{sen } \theta = \frac{\lambda}{d}. \quad (1)$$

² Disponível em: <http://www.horiba.com/typo3temp/pics/7ed23b31e4.jpg> Acesso em 26 Set. 2016.

Figura 7: Ampliação da figura 6 ressaltando a diferença de caminhos entre os feixes que formam o primeiro máximo.



Fonte: Própria autora

O ângulo θ presente nas figuras 5 e 7 são os mesmos, pois as retas que formam o ângulo θ na figura 5 são mutuamente perpendiculares as retas que formam o mesmo ângulo na figura 7. Neste sentido, pode-se usar a trigonometria $\text{sen } \theta = \frac{CO}{H}$, para obter

$$\text{sen } \theta = \left[\frac{\frac{y}{2}}{\sqrt{x^2 + \frac{y^2}{4}}} \right]. \quad (2)$$

Substituindo a equação (2) na equação (1), obtêm-se

$$\left[\frac{\frac{y}{2}}{\sqrt{x^2 + \frac{y^2}{4}}} \right] = \frac{\lambda}{d}. \quad (3)$$

Na realização do experimento, quando a distância do anteparo até o fio de cabelo é da ordem de alguns metros, a distância entre os dois primeiros máximos é da ordem de centímetros. Portanto, x^2 é por volta de dez mil vezes maior que y^2 , ou seja, $x \sim 100y$. Essa diferença permite escrever $\sqrt{x^2 + \frac{y^2}{4}} \sim \sqrt{x^2} = x$. Assim, usando essa aproximação é possível reescrever a equação (3) como

$$d = \frac{2\lambda x}{y}. \quad (4)$$

Desse modo, medindo a distância x , a distância entre os dois máximos e conhecendo o comprimento de onda do laser, é possível conhecer a espessura do fio de cabelo.

Capítulo 5

A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL

A Teoria da Assimilação, defendida por David P. Ausubel, tem sido uma das mais empregadas ao Ensino de Física. Nesta, o autor argumenta que uma das formas de aprender é por recepção. Para ele, isso envolve reflexão, levando-se em consideração a linguagem como fator fundamental para a aprendizagem significativa, como destaca Ausubel “*A linguagem é um importante facilitador da aprendizagem significativa por recepção e pela descoberta*”. (AUSUBEL, 2003, p. 5).

Nesse sentido, as palavras não são usadas apenas para comunicação, mas possibilitam manipular e dar significados a conceitos e proposições. A linguagem é fundamental no desenvolvimento da cognição, colaborando ainda, para que ocorra a aprendizagem significativa de conceitos, enfim, que aconteça a aquisição de conhecimentos.

David Ausubel ao tratar da aprendizagem significativa, por meio de conceitos, ressalta a importância dos elementos subsunçores, ou seja, dos conceitos trazidos pelos aprendizes para a aquisição de um novo conhecimento. Para esse processo de aprendizagem envolve:

(1) ancoragem selectiva do material de aprendizagem às ideias relevantes existentes na estrutura cognitiva; (2) interacção entre as ideias acabadas de introduzir e as ideias relevantes existentes (ancoradas), sendo que o significado das primeiras surge como o produto desta interacção; e (3) a ligação dos novos significados emergentes com as ideias ancoradas correspondentes no intervalo de memória (retenção). (AUSUBEL, 2003, p. 8).

Ausubel considera que as ideias trazidas pelos aprendizes, devem funcionar como uma âncora para a aprendizagem do novo conhecimento, das novas informações. No entanto, este aprendizado pode ser retido ou esquecido. Quando ocorre a retenção são estabelecidas ligações entre o que o aprendiz tinha na sua estrutura cognitiva com a nova informação. Quando as ideias ancoradas são esquecidas ocorre obliteração.

Moreira (2012) explica que a aprendizagem significativa decorre de um novo conhecimento que interage com algum conhecimento relevante existente na estrutura cognitiva do indivíduo. Após a interação passa a ter um novo sentido, enriquecendo os anteriores e dando significação aos novos.

Moreira esclarece o termo aprendizagem significativa, ao dizer que:

Aprendizagem significativa é aquela em que ideias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva e não-arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe. Substantiva quer dizer não-literal, não ao pé-da-letra, e não-arbitrária significa que a interação não é com qualquer idéia prévia, mas sim com algum conhecimento especificamente relevante já existente na estrutura cognitiva do sujeito que aprende. (MOREIRA, 2012, p. 2).

Deste modo, valoriza-se o que o indivíduo já sabe. O aprendiz consegue dar significado ao que está aprendendo estabelecendo relações ao que ele já tinha em sua mente. Assim, ao descrevê-la, Moreira (1999) se baseia na Teoria de David Ausubel, focalizada no cognitivo, preocupada em entender como o indivíduo organiza as ideias e o conhecimento adquirido na estrutura cognitiva.

Sobre a aprendizagem significativa, Moreira (1999) diz que ela pode se obliterar ao longo dos tempos, ou seja, se a pessoa aprendeu significativamente, mas passa anos sem ter contato com o conteúdo estudado, acontece de esquecer temporariamente, mas se voltar a tratar do assunto se lembrará. Estes conteúdos podem ser resgatados pelo uso, os conceitos subsunçores retornam e o indivíduo se lembra daquilo que estava a tempos esquecido em sua memória. Segundo ele, isto acontece muito com professores que passam muito tempo fora da sala de aula. No entanto, se isto não ocorrer, a aprendizagem não foi significativa.

Quando a aprendizagem significativa realmente ocorreu, o aluno consegue estabelecer relações e diferenciar entre o que o mesmo já sabia e o novo conhecimento, ou seja, o que ele adquiriu. Ao contrário da memorização, que de acordo com Ausubel, acontece de maneira “*arbitrária e literal*” (2003, p. 5), não leva a aquisição de novos significados.

5.1 Os subsunçores da aprendizagem significativa

Segundo Moreira (1997), para Ausubel é interessante levar em consideração o que o aluno sabe, ou seja, o conhecimento que ele traz consigo. No entanto, ocorre uma mudança nessa estrutura quando se adquire uma nova ideia, influenciada pelo novo material. Ausubel diz que esses conceitos prévios do educandos são definidos como subsunçores, que permitirão fazer um elo com as novas informações.

A aprendizagem significativa ocorrerá se as considerações subsunçoras puderem ser modificadas. Caso não seja estabelecida esta relação, a aprendizagem ocorrerá de forma mecânica. Assim, o novo conteúdo não tem significado para o

aprendiz, ocorre apenas memorização e repetição, ficando os dados adquiridos isolados na estrutura cognitiva.

Moreira estabelece algumas condições para que a aprendizagem significativa ocorra:

A primeira condição implica 1) que o material de aprendizagem (livros, aulas, aplicativos, ...) tenha significado lógico (isto é, seja relacionável de maneira não-arbitrária e não-literaI a uma estrutura cognitiva apropriada e relevante) e 2) que o aprendiz tenha em sua estrutura cognitiva idéias-âncora relevantes com as quais esse material possa ser relacionado. (MOREIRA, 2012, p. 8)

Assim, o material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo e o aprendiz deve ter uma predisposição para aprender. Para isso, deve ter algum conhecimento prévio, que possa ser relacionado ao material escolhido pelo professor. E que tenham significado para os alunos, que precisam querer comparar os conhecimentos novos aos prévios, demonstrando uma predisposição para a aprendizagem.

O autor ainda ressalta a importância de saber reconhecer que, os subsunçores são os conhecimentos prévios existentes na estrutura do aprendiz, que permitirão que os materiais sejam potencialmente significativos e que levem a aprendizagem. Quando os conhecimentos prévios interagem com os novos, ocorre o processo de assimilação, onde os conceitos aprendidos passam a fazer sentido, e os prévios adquirem significados, ocorrendo uma mudança, uma modificação, pode-se dizer que ocorreu uma assimilação do novo conhecimento.

As DCEs (2008) para o ensino de Física citam que:

É importante que o processo pedagógico, na disciplina de Física, parta do conhecimento prévio dos estudantes, no qual se incluem as concepções alternativas ou concepções espontâneas. O estudante desenvolve suas concepções espontâneas sobre os fenômenos físicos no dia-a-dia, na interação com os diversos objetos no seu espaço de convivência e as traz para a escola quando inicia seu processo de aprendizagem. (DCEs, 2008, p. 61)

No entanto, esses conhecimentos prévios não devem ser um entrave para a aprendizagem de novos conceitos e sim serem utilizados a favor. Tendo em mente que nenhum conhecimento pode ser considerado como verdade absoluta. Para isso, o professor precisa propiciar alternativas para que os alunos cheguem ao conhecimento científico, de modo que ocorra a aprendizagem significativa.

Nesse enfoque, de acordo com as DCEs:

Tem-se por objetivo que professor e estudantes compartilhem significados na busca da aprendizagem que ocorre quando novas informações interagem com o conhecimento prévio do sujeito e, simultaneamente, adicionam, diferenciam, integram, modificam e enriquecem o saber já existente, inclusive com a possibilidade de substituí-lo. (DCEs, 2008, p. 63).

As informações adquiridas poderão ser transformadas em conhecimento, o estudante será capaz de saber fazer uso deste em outras situações semelhantes a que ele aprendeu em sala. Os conteúdos aprendidos significativamente serão relacionados aos conceitos relevantes existentes na estrutura cognitiva dos aprendizes.

Na Teoria da Aprendizagem Significativa, Moreira (2012) fala sobre os organizadores prévios, que segundo ele, serão utilizados quando os aprendizes não contam com subsunçores adequados para a aquisição do novo conhecimento. Tais organizadores precedem ao material em si, podendo ser uma situação problema, uma demonstração, uma pergunta ou outro recurso instrucional desde que sejam generalizados e mais abrangente que o material que será utilizado. Para o autor tais organizadores podem ou não funcionar, e geralmente seus efeitos são pequenos.

Boss ressalta que:

Ausubel propõe uma estratégia para modificar a estrutura cognitiva do aluno e facilitar a aprendizagem significativa. Esta estratégia é a utilização de organizadores prévios, que consistem em materiais introdutórios mais gerais, inclusivos e abstratos que o material de aprendizagem – são ministrados aos estudantes antes do material de aprendizagem. Sua função é gerar condições cognitivas para a aprendizagem significativa. (BOSS, 2009, p. 16).

Como o educando vem com alguma noção de certos conceitos, sejam eles empíricos ou não, cabe ao professor identificar o que os mesmos sabem e ensinar a partir destes. Além disso, é relevante propor situações que levem a reflexão do conteúdo e a efetivação do processo de aprendizagem, permitindo a aquisição de novos conceitos e a construção do conhecimento científico.

Tanto na aprendizagem receptiva (na qual os conteúdos são apenas passados e os alunos relacionam com o que já conhecem) quanto por descoberta (o novo conteúdo é descoberto de forma independente) ocorrem de maneira mecânica ou significativa, e mesmo uma aprendizagem mecânica pode futuramente passar a ser significativa. Boss (2009), sobre os subsunçores definidos por Ausubel, afirma que os mesmos são informações que servirão de âncora para que o aluno aprenda o novo conteúdo, e tenha assim uma aprendizagem significativa.

Baseando-se na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, acredita-se que o conceito de ondas, bem como, as observações do dia-a-dia, podem funcionar como subsunçores para a aprendizagem da difração, ou como uma ideia âncora, onde o aprendiz possa estabelecer relações para adquirir um novo conhecimento, compreendendo o fenômeno da difração da luz partindo da definição de ondas e da difração do som, facilitando a aprendizagem.

Os organizadores prévios também podem estimular a vontade de aprender, assim, para o ensino do fenômeno da difração, propôs-se uma questão problematizadora, e a partir do conceito de ondas, trabalhou-se a difração de ondas sonoras para então explicar a difração da luz. Tendo explorado o ensino de ondas longitudinais e transversais. Seguido de perguntas, buscando identificar o conceitos antecedentes que os alunos tinham sobre o conceito de ondas, lasers, medidas, para que fossem usados como subsunçores, ou seja, o conhecimento já existente na estrutura do indivíduo, relevantes para aquisição de novas ideias. Como material potencialmente significativo realizou-se um experimento, onde os alunos mediram o diâmetro de um fio de cabelo, participando ativamente para uma melhor compreensão do conceito de ondas e difração da luz.

A realização da atividade experimental contribui ainda, para que, os alunos adquiram competências, tais como a reflexão, autoconfiança e ampliem a linguagem científica. Além disso, partindo dos conhecimentos prévios dos aprendizes, é possível que se estabeleça uma mudança conceitual, em que os novos conhecimentos ajudarão a solucionar a questão motivadora.

5.2 Os tipos de aprendizagem significativa

Moreira (1999) cita três tipos de aprendizagem significativa definidas por Ausubel: A **representacional**, na qual os símbolos tem significação; a de **conceitos**, também representacional mas que podem ser generalizadas; e por último a **proposicional**, onde as ideias são compreendidas como um todo, em forma de proposição, que são confirmadas ou refutadas.

Para Ausubel (2003), a representacional é semelhante a memorização, em que os objetos e conceitos recebem significado. A de conceitos constitui um elo para a resolução de problemas, presentes na estrutura cognitiva do aprendiz, são

fundamentais para a nova aprendizagem. Na proposicional os conceitos adquiridos se relacionam com as existentes na estrutura cognitiva, proposições estas relevantes e específicas.

Moreira (1999) acredita que, para Ausubel, a assimilação ocorre quando as novas informações são relacionadas ao conhecimento prévio do aprendiz, e este se modifica. Ocorrendo, uma transformação nas ideias que funcionaram como subsunçores, que tornam-se mais elaboradas. O autor destaca a importância da sequência de tópicos, uma vez que, um ajudará no entendimento do outro, ou seja, funciona como um organizador prévio. Além de, favorecer a organização dos conteúdos e fortalecer a aprendizagem significativa, onde o professor terá o papel de facilitador desta.

O professor elaborará a sequência organizacional, fazendo a identificação dos elementos subsunçores que os educandos precisam ter na sua estrutura cognitiva para aprenderem o que se quer ensinar. Ostermann e Cavalcanti, destacam que no ensino de Física uma das etapas fundamentais:

[...] seria determinar dentre os subsunçores relevantes, quais os que estão disponíveis na estrutura cognitiva do aluno. Finalmente, ensinar utilizando recursos e princípios que facilitem a assimilação da estrutura da matéria de ensino por parte do aluno e organização de suas próprias estruturas cognitivas nessa área de conhecimentos, através da aquisição de significados claros, estáveis e transferíveis. (OSTERMANN; CAVALCANTI, 2010, p. 24)

Neste sentido, é indispensável fazer um diagnóstico do que esse aluno já sabe, e por fim, ensinar de acordo com o que o educando já conhece, fazendo uso de recursos que favoreçam o processo de ensino-aprendizagem e que auxiliem na construção do conhecimento e na organização da estrutura cognitiva.

Capítulo 6

A FUNÇÃO DA EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA

O uso de experimentos na sala de aula acontecem por demonstração por parte do professor, onde o aprendiz apenas observa o fenômeno, ou ocorrerem na sala/laboratório, onde os alunos fazem uso de materiais, observando e testando. O emprego de experimentos em sala de aula, aliado às teorias, pode ser de grande valia para a aprendizagem, uma vez que dão oportunidade aos alunos de relacionarem os conhecimentos empíricos a conceitos e linguagens científicas. Além disso, permite dar sentido aos acontecimentos, despertando o caráter investigativo, orientando os aprendizes na compreensão de fenômenos, modelos explicativos, bem como para aprender a fazer o uso da linguagem científica.

Séré et al, afirmam que *“...por meio de atividades experimentais o aluno consegue mais facilmente ser ator na construção da ciência, já que a experiência demonstrativa seria mais propícia para um enfoque dos resultados de uma ciência acabada”*. (SÉRÉ et al, 2003, p. 39)

Sabe-se que na ciência, os conhecimentos científicos não vêm prontos e acabados, mas estão sempre em construção, sujeitos à mudança, e até serem substituídos por um novo, pois, o que é válido hoje futuramente poderá não o ser. Daí a importância de despertar no aluno o gosto pela pesquisa, pela investigação, para que não sejam meros repetidores, mas que busquem alternativas e participem do processo de construção, de descoberta, da tomada de decisões. E por fim, que saibam fazer e entender leituras de textos científicos, contribuindo para a cidadania.

As aulas experimentais não devem ocorrer de forma isolada, mas sim serem precedidas de aulas teóricas, para que os alunos tenham uma visão do que irão estudar, isso permitirá uma melhor eficácia no desenvolvimento do experimento. Levando-se em consideração, que o uso de procedimentos facilitam a organização e a coleta de dados, auxiliando na realização do mesmo e contribuindo para que os objetivos sejam alcançados.

Nardi sobre o uso da experimentação, considera que:

“[...] vai além de “motivar” ou “cativar” o aluno. Ela é importante, entre outros aspectos, para orientar os alunos na compreensão de suas formas de explicar e interagir com os colegas visando aprimorar raciocínios e ampliar sua linguagem científica.” (NARDI, 2014, p. 111).

A prática experimental funcionará como uma estratégia para que os alunos sejam instigados à pesquisa, a novas descobertas, ao enriquecimento científico, favorecendo a aprendizagem significativa. Cabe ao docente mediar esta atividade, de forma a levar os alunos a uma reflexão, bem como desafiá-los a resolver problemas.

Andrade et al. (2014) salienta:

Diante desta dificuldade de contextualização, encontramos uma ferramenta didática, que possibilita atender os anseios de uma aprendizagem significativa, a experimentação. A Experimentação permite que o estudante tenha um contato com a Física de uma forma diferente da sua rotina nas aulas tradicionais, servindo como um elo entre a teoria e a prática. (ANDRADE et al., 2014, p. 6).

Em capítulo anterior comentamos que o trabalho interdisciplinar pode ajudar a resolver o problema da descontextualização no ensino de Física, e como pode-se perceber, a experimentação também é uma forma de resolver essa situação. De acordo com Andrade (2014), o uso de experimentos no ensino de Física contribuem para a reestruturação dos saberes e reflexão sobre os conhecimentos prévios, de maneira que ocorra a aprendizagem significativa.

Capítulo 7

UMA PROPOSTA EXPERIMENTAL PARA O ENSINO DE DIFRAÇÃO

Baseando-se na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, como material potencialmente significativo propôs-se aos alunos realizarem uma prática experimental para que compreendessem melhor o conceito de difração. Ademais, os alunos trabalharam com a conversão de unidades.

Desenvolveu-se este trabalho no 3º ano do Ensino Médio no primeiro semestre de 2016, no Colégio Estadual Rancho Alegre – E.F.M, localizado no município de Rancho Alegre d'Oeste - PR, pertencente ao NRE – Núcleo Regional de Educação de Goioerê.

O experimento teve como objetivo utilizar o fenômeno da difração para medir o diâmetro de um fio de cabelo. Além da difração, foram explorados os conceitos como ondas, tipos de ondas, Princípio de Huygens, razão e proporção e conversão de unidades.

A atividade teve duração de 2 aulas de 50 minutos, totalizando 100 minutos. A primeira aula destinou-se a parte teórica, expositiva com utilização de recursos multimídia, quadro branco. Na segunda aula ocorreu a realização do experimento e aos cálculos da espessura do fio de cabelo, em conjunto com a aplicação de questionários posteriores.

7.1 Aula teórica preparatória para realização do experimento

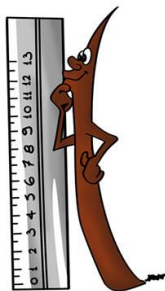
A aula teórica³ antes da aplicação e do desenvolvimento da prática, teve como intuito relembrar alguns conceitos, para os que já ouviram falar sobre o assunto, bem como prepará-los, colocando-os a parte dos pré-requisitos, bem como, esclarecer possíveis dúvidas. Para identificar os conceitos prévios dos estudantes, foram

³ Os Slides utilizados na aula teórica, bem como o Produto Educacional com explicações referentes a teoria, aos slides (conteúdos abordados em cada um) e a atividade experimental, estão disponíveis no endereço: <https://www.dropbox.com/sh/cuvyq4lctdawjh3/AACCqoGaWEu8VJxIjQ0kEzAGa?dl=0>

propostas questões com objetivo de levá-los a uma reflexão sobre o conteúdo a ser explorado.

Inicialmente levantou-se uma questão central motivadora: Como medir a espessura de um fio de cabelo? (representada pela Figura 8).

Figura 8: Como medir a espessura de um fio de cabelo?



Fonte: Extraída da internet ⁴

Passado este momento solicitou-se aos alunos que respondessem a um questionário prévio (que será discutido nos resultados), deixando um tempo aproximadamente 5 minutos para que tentassem responder de acordo com seus conhecimentos sobre o assunto, de forma individual e por escrito.

Depois de responderem ao questionário, a aula prosseguiu. Explicou-se o conceito de onda, ressaltando que a questão: “Como medir a espessura de um fio de cabelo?” poderá ser solucionada por meio de uma onda, ou seja, fazendo uso de uma onda mede-se a espessura de um fio de cabelo. Neste caso, a onda luminosa, uma vez que a luz se comporta como uma onda.

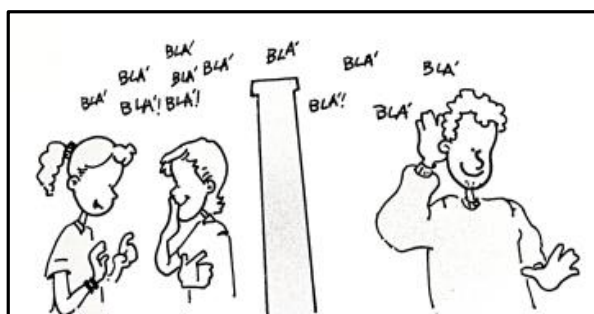
Também citou-se um exemplo de onda conhecido por eles, como a perturbação que ocorre quando se joga uma pedra em um lago. Foram definidas as principais características de uma onda, destacando o que é uma onda transversal e uma onda longitudinal. Além da explicação teórica, os alunos visualizaram a animação de uma onda transversal. Em seguida, realizou-se uma demonstração com um brinquedo a “mola maluca”. A mola recebia pulsos que demonstravam o movimento de uma onda transversal (ocorre o movimento no sentido vertical, uma onda se propaga na direção horizontal, ou seja, da esquerda para a direita). Depois outro pulso na mola

⁴ Disponível em: <http://www.tricosalus.com/wp-content/uploads/fases-do-cabelo.jpg> Acesso em 26 Set. 2016.

evidenciando como ocorre com uma onda longitudinal (em que a vibração ocorre na mesma direção do movimento, ou seja, ela vibra e se propaga na mesma direção).

Prosseguindo a aula teórica procurou-se introduzir o conceito de difração a partir da difração do som. A figura 9 foi apresentada a eles de maneira que refletissem sobre o assunto.

Figura 9: A imagem representa um indivíduo escutando duas pessoas conversarem atrás do muro.



Fonte: (GREF, 2005, p. 208)

Levantou-se alguns questionamentos como “Já ouviu alguém conversando por trás de um muro?”, ou “Já conversou com alguém que está do outro lado do muro?”

Depois de ouvir os aprendizes, ressaltou-se que se tratam de ondas sonoras, e que é possível ouvir as pessoas conversarem ou conversar com alguém que está do outro lado do muro devido ao fenômeno da difração. E neste exemplo as ondas sonoras estão sendo difratadas, ou seja, estão contornando o obstáculo, que neste caso é o muro.

Sobre a figura 9 procurou-se deixar claro que isso só é possível por que o comprimento de onda do som é proporcional ao tamanho do obstáculo. Assim, sabe-se que o comprimento de onda do som é enorme, quando comparado com o comprimento de onda de uma fonte luminosa. Por esse motivo, a difração do som torna-se mais evidente que a da luz.

A figura 6 representando a difração, possibilitou, trabalhar vários conceitos como o fenômeno da difração da luz. Sendo possível explicar que difração é a propriedade do movimento ondulatório de contornar obstáculos ao ser interrompido por eles. Também trabalhou-se o Princípio de Huygens no qual cada ponto de uma frente de onda em determinado instante funciona como fonte de ondas secundárias que tem características iguais a da onda inicial, ou seja, cada ponto se comporta como uma nova frente de ondas.

Tendo explorado ainda a figura 10, que mostra a difração da luz tendo a presença de um fio de cabelo. Explicou-se a questão das franjas claras e escuras, que representam os máximos e os mínimos da figura de difração.

Figura 10: Figura de difração obtida quando a luz laser contorna o obstáculo (fio de cabelo).



Fonte: Própria autora

Nessa demonstração abordou-se com aos alunos que uma figura semelhante a esta se formaria quando fizessem o experimento, para que eles se familiarizassem e soubessem que imagem deveriam obter. A ilustração permitiu ainda que os aprendizes observassem os máximos e mínimos comentados na figura 6.

Feito isso, trabalhou-se as questões matemáticas, de como obteriam esse padrão de difração, tendo explicado ainda o esquema de montagem do experimento, que é ilustrado também pela figura 5.

Neste ponto abordou-se como seriam feitos os cálculos matemáticos que permitiriam saber qual o diâmetro do fio de cabelo, lembrando que o valor poderia variar de fio para fio, visto que existem cabelos finos, grossos. Na figura 5 também explorou-se os conceitos de razão e proporção, onde substituíam-se as grandezas x e y da equação (utilizada para calcular o diâmetro do fio de cabelo), por possíveis valores numéricos, os alunos respondiam o que mudava quando esses dados eram alterados.

Antes da prática explicou-se como converter unidades, uma vez que o diâmetro do fio de cabelo é dado em micrometro (μm), o comprimento de onda (λ) do laser em nanômetros (nm), a distância x (do fio de cabelo + laser ao anteparo) em metros (m) e a distância entre os máximos consecutivos y em centímetro (cm). Neste sentido, fez-se indispensável trabalhar esses conceitos.

Dialogou-se ainda, sobre uma tabela apresentada com essas unidades, explicando-se o porquê da necessidade dessas letras para representar números. Por exemplo, k é a mesma coisa que mil (1.000), Mega corresponde a 1 milhão (1.000.000), Giga a um bilhão (1.000.000.000). Citou-se como exemplo que, quando eles forem comprar um computador, ao invés de pedirem um computador com 1 bilhão

de bytes de memória, solicitarão um equipamento com 1G de memória, ficando mais fácil de quantificar as grandezas. O mesmo se aplica a objetos com medidas menores, como por exemplo mili, centi e assim por diante.

Explicou-se aos alunos que estes símbolos (letras), representam um fator da base 10, ou seja, são números, e quando aparecerem essas letras/ símbolos em alguns exercícios, eles deveram substituir pelos valores correspondentes, por exemplo quando tivermos o símbolo n, este, será substituído por 10^{-9} de acordo com o que está na tabela. Ocorreu dessa forma, um trabalho interdisciplinar com a matemática.

Buscando fixar melhor a questão de conversão de unidades, resolveu-se no quadro um exemplo que permitia trabalhar com esses conceitos. Em seguida apresentou-se um exercício para que resolvessem individualmente e por escrito.

Na segunda aula, deu-se início a atividade prática para que os aprendizes pudessem medir o diâmetro do fio de cabelo. Para isso foram necessários alguns materiais:

- Laser
- Anteparo (Sulfite em branco)
- Trena e régua
- Fio de cabelo
- Fita adesiva
- Lápis

Dividiu-se a turma em 4 grupos com 5 alunos, passamos as instruções com os procedimentos necessários para o bom andamento da aula, tais como:

- Deixar a sala parcialmente escura;
- Fixar o fio de cabelo diretamente no laser utilizando fita adesiva;
- A fonte de laser deve estar a uma distância de 2 a 3 metros da parede / anteparo para facilitar a visualização do fenômeno da difração;
- Medir e anotar a medida do comprimento x (do laser ao anteparo);
- Obter o padrão de difração no anteparo;
- Medir y (ver figura 5);
- Calcular a espessura do fio de cabelo, d , a partir da equação:

$$d = 2 \frac{x\lambda}{y}$$

onde:

- y - é a distância entre dois máximos da luz difratada;
- x - distância do anteparo ao obstáculo;
- d – espessura do fio de cabelo;
- λ - comprimento de onda do laser.

Cada grupo realizou o experimentos, anotou as medidas e obtiveram o valor da espessura do fio de cabelo que mediram. Os resultados foram discutidos num capítulo à parte.

Capítulo 8

RESULTADOS OBTIDOS DA APLICAÇÃO DO PRODUTO

Desenvolveu-se o trabalho, no 3º ano do Ensino Médio e mesmo o conteúdo de ondas e difração ser um conteúdo do 2º ano, esta turma não tinha visto este conteúdo. Os alunos comentaram que no ano anterior houve troca de professores nesta disciplina e que tiveram aulas de Física com professores de outras áreas como Biologia e Química. Por esse motivo optou-se por trabalhar esse conteúdo no 3º ano, no primeiro semestre.

A parte teórica e a prática foram desenvolvidas em 2 aulas de 50 minutos seguidas, sendo que trabalhou-se a teoria na primeira aula e a realização do experimento aconteceu na segunda aula.

Durante o ensino percebeu-se que a turma tem bastante dificuldade para realizarem os cálculos e para compreender os conteúdos de Física, bem como associá-la a situações do cotidiano. Por meio dos questionários ficou evidente que até mesmo em relação a escrita⁵, ao uso da nossa linguagem, eles encontraram “dificuldades”.

Em relação a questão central motivadora: “Como medir o diâmetro de um fio de cabelo”, feita no início da aula teórica, os alunos responderam, com régua, fita, e outros que não tinham nenhuma ideia de como fariam essa medida.

Quanto a demonstração feita em sala, com a “mola maluca”, para demonstrar os tipos de ondas, os alunos mostraram-se atentos e participativos dizendo que tipo de onda visualizavam conforme os movimentos. A atividade ajudou a compreensão e distinção dos tipos de ondas.

Quando questionados: “Já ouviu alguém conversando por trás de um muro?”, ou “Já conversou com alguém que está do outro lado do muro?” Os aprendizes disseram que já tiveram essa experiência, mas não sabiam explicar ao certo porque isso ocorre.

⁵ As respostas dos alunos quanto as questões prévias à realização da aula teórica, bem como as posteriores ao experimento estão nos próximos itens. As respostas foram transcritas literalmente.

8.1 Questões e respostas dos alunos as questões prévias a realização do experimento:

Aplicou-se um questionário prévio, em que os alunos responderam de forma individual e por escrito, como veremos a seguir.

8.1.1 A ideia inicial dos alunos quanto a espessura do fio de cabelo e como medi-lo

O alunos iniciaram respondendo a questão 1, que trata da espessura do fio de cabelo:

1) Qual deve ser, em sua opinião, a espessura de um fio de cabelo? E como medir a espessura de um fio de cabelo?

Respostas:

Aluno 1: *“Acredito eu que deva ter uma espessura milimetricamente pequena por ser tão fino”.*

Aluno 2: *“A espessura deve ser milimétra, pode se medir eu acho com uma fita métrica, apesar de que o cabelo é bem fino.”*

Aluno 3: *“Não sei !!!”*

Aluno 4: *“0,05 milímetros”*

Aluno 5: *“5 cm. Com uma régua especial”*

Aluno 6: *“Na minha opinião deve ser bem fino. Estigando-o bem e tentar medir com á régua.”*

Aluno 7: *“Um fio de cabelo ele é muito fino e alguns bem fracos, E medir o fio de cabelo não tenho ideia como posa fazer isso sem a régua.”*

Aluno 8: *“Bem fino. Com o dedo.”*

Aluno 9: *“A espessura deve ser bem pequena, pois a olho nu, o fio de cabelo é muito fino.”*

Aluno 10: *“Com uma régua acho que seria possível, mas muito difícil, ou por alguma conta.”*

Aluno 11: *“A espessura de um fio de cabelo precisamente não sei, mas eu colocaria um fio de cabelo em uma lente de aumento e com a ajuda de uma régua precisaria tentar identificar a espessura.”*

Aluno 12: *“muito pequena. Com ajuda de experimentos físicos.”*

Aluno 13: *“Na espessura deve ter um tamanho porque se for muito grosso vai pesar muito, e se for fino de mais quebra. Deve haver algo uma fita específica.”*

Aluno 14: *“0,05 mm. Com algum tipo de aproximação de alguma câmara específica.”*

Aluno 15: *“1 milímetro, fazendo a medida com uma régua.”*

Aluno 16: *“A espessura de um fio de cabelo é muito fino, com uma régua na parte de trás do cabelo é possível, mas não é nada fácil.”*

Aluno 17: *“A espessura de um fio de cabelo deve ser mais fina do que uma possível linha de caderno. Por um matéria próprio para isso.”*

Aluno 18: *“Na minha opinião, é muito difícil de se medir a espessura de um fio de cabelo com uma régua, não tenho ideia de como mediria.”*

Aluno 19: *“0,05 m”*

Aluno 20: *“Espessura boa. Não sei.”*

Comentários sobre as respostas

Pelas respostas dadas pelos alunos, percebe-se que a maioria deles não tinham ideia de como medir o diâmetro (espessura) de um fio de cabelo, e alguns não sabem nem o que era espessura, confundindo com comprimento. Observa-se ainda que apesar de alguns alunos darem palpites sobre o diâmetro, somente um aluno deu um palpite correto, quando respondeu “0,05 mm”, pois, 0,05 mm equivale a $50\mu\text{m}$, que corresponde ao “diâmetro” do fio de cabelo, conforme veremos adiante. Pode-se perceber que este aluno teve uma noção de comparação entre as grandezas.

Os demais palpites foram equivocados, quando falaram da ordem de, centímetros, metros, ou sejam, não conseguiram estabelecer uma relação de comparação entre as grandezas e a espessura do fio de cabelo. Isso ocorreu, talvez por não estarem familiarizados com medidas pequenas, e o que eles conheciam, e mais frequentemente ouviam falar são as medidas tais como metro, centímetro e milímetro, isso talvez justifique tais respostas.

Outros tinham uma noção de que vão precisar de algum conhecimento para fazer isso, como pode-se observar nas respostas:

“A espessura deve ser bem pequena, pois a olho nu, o fio de cabelo é muito fino. Com uma régua acho que seria possível, mas muito difícil, ou por alguma conta.”

“muito pequena. Com ajuda de experimentos físicos.”

Ao darem estas respostas, acredita-se que mesmo não sabendo, ou não tendo ideia de como medir o diâmetro do fio de cabelo, eles tinham a noção que com a ajuda da Física isso é possível, por meio de experimento e cálculo.

8.1.2 O que os aprendizes entendiam por ondas

Numa segunda questão procurou-se identificar o conhecimento dos alunos com relação as ondas, sejam eles empíricos ou científicos, como segue:

2) O que é uma onda?

Respostas:

Aluno 1: *“Uma força, algo que impulsiona um elemento”.*

Aluno 2: *“A palavra onda pode ter vários sentidos, pode ser uma onda do mar, uma onda sonora, uma onda auditiva, entre outros possíveis sentidos”.*

Aluno 3: *“Tem vários tipos de ondas: ondas sonoras, ondas do mar e onda magnesia etc...”*

Aluno 4: *“Uma onda podem ser magnetica eletromagmetica e a”*

Aluno 5: *“É uma elevação de água do mar”*

Aluno 6: *“A uma onde é quando no mar junta se muita água sobe para cima”.*

Aluno 7: *“A onda deve ser alguns dos formatos de cabelos uns diferentes do outro”*

Aluno 8: *“Axo que é cabelo ondulado um tipo de cabelo.”*

Aluno 9: *“Ondas do mar, são o choque de ar quente com o frio, tem as ondas eletromagnéticas, ondas sonoras.”*

Aluno 10: *“Esta pergunta é muito ampla, afinal pode estar se referindo ao fenômeno natural que ocorre no mar, pode se referir as ondas eletromagnéticas por exemplo.”*

Aluno 11: *“ondas sonoras, ondas de irradiação, ondas do mar.”*

Aluno 12: *“Um meio de propagação pelo ar com as ondas sonoras.”*

Aluno 13: *“Onda eletromagnética por exemplo é um tipo de eletricidade de atração ou repulsão.”*

Aluno 14: *“Onda → me vem na mente a onda do mar, que são as mudanças na água e a onda eletromagnética que esta nos eletrônicos.”*

Aluno 15: *“Na minha opinião a onda e uma aplicação eletromaquinética que provoca movimentos de eletrostática que formas as ondas. Ou também podem ser ondas magnéticas.*

Aluno 16: *“Tem varias ondas como: ondas eletromagnéticas, ondas sonoras, ondas do mar.*

Aluno 17: *“As ondas eletromagnéticas como por exemplo são ondas que contém eletricidade que ajuda na energia que utilizamos.”*

Aluno 18: *“honda magnética é um tipo de magnetismo.”*

Aluno 19: *“Quando o cabelo tem ondas magnéticas e não tem uma espessura boa.”*

Comentários sobre as respostas

As respostas acima demonstram que parte dos alunos tinham alguma ideia empírica referente ao conceito de onda, ou de alguma experiência escolar vivida em outro momento, outra série, ou seja, apresentam concepções do seu cotidiano, de experiências visuais, que podem ser notadas quando citam: as *“ondas do mar”*, *“É uma elevação de água do mar”*. Alguns alunos tinham concepções relacionados a física, aos conceitos próprios desta disciplina quando citaram como exemplos as ondas eletromagnéticas, sonoras, como podemos observar nas respostas: *“Onda → me vem na mente a onda do mar, que são as mudanças na água e a onda eletromagnética que esta nos eletrônicos.”*, *“Tem varias ondas como: ondas eletromagnéticas, ondas sonoras, ondas do mar.”*.

Outros demonstraram não ter conhecimento algum sobre o assunto, estabelecendo conclusões errôneas e confusas, como se percebe em respostas como: *“A onda deve ser alguns dos formatos de cabelos uns diferentes do outro”*, :

“honda magnética é um tipo de magnetismo.” “Quando o cabelo tem ondas magnéticas e não tem uma espessura boa.” Estas respostas demonstraram total desconexão tanto com a realidade, quanto com as concepções físicas sobre onda.

Quando o aluno responde: *“Uma força, algo que impulsiona um elemento”*, supõe-se que ele tenha imaginado uma onda mecânica, a força como um pulso em uma corda por exemplo, que causa uma perturbação, que impulsiona.

Dos 19 alunos que responderam a esta questão, desconsiderando alguns termos, pode-se dizer que 12 deles tinham uma noção empírica sobre ondas, enquanto os demais apresentaram respostas insatisfatórias sobre o tema em questão.

8.1.3 A noção dos alunos sobre laser

A terceira e última questão prévia tinha como objetivo verificar se os alunos conheciam o laser, e se conhecessem, respondessem, para que fins este equipamento seria utilizado.

3) Indique possíveis aplicações para um laser?

Respostas:

Aluno 1: *“Aplicações estéticas, cirurgicas”.*

Aluno 2: *“O laser pode ser usado em cirurgias, em jogos de futebol, etc.”*

Aluno 3: *“ para ter um ótimo laser primeiro de tudo é ter muito respeito pelo próximo e um bom conhecimento.”*

Aluno 4: *“cortar, ler, desenhar”*

Aluno 5: *“queimar papel com uma lupa.”*

Aluno 6: *“Aplica se na pele para limpeza. O como uma ultrasson que coloca passa um gele observa lá dentro.*”

Aluno 7: *“tratamento a laser para cabelos, implantes.”*

Aluno 8: *“identificar o tamanho e a espessura do cabelo.”*

Aluno 9: *“para procedimentos médicos, para cortar algo”.*

Aluno 10: *“O laser pode ser aplicado de inúmeras formas, em cirurgias por exemplo.”*

Aluno 11: *“Para cirurgia, para luz.”*

Aluno 12: *“Se uma pessoa se perder pode ser localizada ou em pistão de avião a noite usando do modo certo, para localizar pontos específicos em um corpo.”*

Aluno 13: *“Uma possível aplicação é a eletricidade em alguns casos”.*

Aluno 14: *“Laser → lanterna, celular, rádios, armas, máquinas para cura da pedra nos rins, etc.”*

Aluno 15: *“pode ser usado com experimentos, a luz de u, laser é capaz de apagar luzes de poste, se mirar direto na fonte.*”

Aluno 16: *“Cirúrgias, empresoras a laser etc.”*

Aluno 17: *“Laiser pode ser usado em diversas coisas, campos, cirurgia, etc.”*

Aluno 18: *“cores, corta, desenhar, ler.”*

Aluno 19: *“Não sei!”*

Comentários sobre as respostas

Nas respostas referentes ao laser, observou-se que a maioria deles já ouviu falar do mesmo, principalmente na medicina, nas cirurgias.

Uma resposta que demonstrou uma total desconexão é quando o aluno (a) confunde laser com lazer. No entanto, a maioria tinham uma noção, mesmo que mínima que o laser pode ser usado para cortar, para ler códigos de barras, na medicina, nas impressoras, e mesmo nas ciências quando responde: *“identificar o tamanho e a espessura do cabelo.”*

8.2 Questões e respostas dos alunos ao questionário posterior ao experimento

Num segundo momento, posterior a realização do experimento da difração, aplicou-se um questionário, buscando averiguar se os alunos conseguiram encontrar o diâmetro do fio de cabelo.

Para a realização da prática experimental, cada grupo recebeu o kit de materiais e os procedimentos necessários para a realização do experimento. Os aprendizes demonstraram-se interessados, mas conforme foram iniciando a prática, acabaram tumultuando um pouco, ocasionando uma maior agitação na sala de aula.

Cada equipe se organizou para realizarem o experimento, dividindo as tarefas entre fixar o fio de cabelo na ponteira do laser, segurar o laser, medir a distância x , medir y e anotarem as medidas. Alguns aprendizes optaram por segurar o laser, outros preferiram apoiar o laser na carteira, para evitar que ele se movesse.

Pode-se perceber que não tiveram problemas para realizarem as medidas, sempre que tinham alguma dúvida, questionavam. Apenas uma das equipes demonstrou maior dificuldade, demorando mais tempo que as demais para obterem as medidas, bem como para fazerem os cálculos.

Alguns conseguiram medir o diâmetro de dois fios de cabelos diferentes, e para distâncias variadas entre 2 e 3 metros. Outros fizeram somente para uma distância e um fio de cabelo. Veremos os resultados a seguir.

8.2.1 O valor encontrado para a espessura do fio de cabelo medido

1) E agora, após ter feito o experimento, você saberia dizer qual a espessura (aproximada) do fio de cabelo?

Respostas:

Aluno 1: "106,4 μm "

Aluno 2: "sim, 0,64 μm "

Aluno 3: "sim, 0,64 μm "

Aluno 4: "58,3 μm e 79,93 μm "

Aluno 5: "58,3 μm "

Aluno 6: "58,3 μm "

Aluno 7: "58,3 μm e 70,93 μm "

Aluno 8: "58,3 μm e 70,93 μm "

Aluno 9: "sim, em 2m de distancia medio 65,0 μm .

Aluno 10: "sim de $d=2\text{cm}$ expessura de 2,2 na distância de 3m expessura de 3,6."

Aluno 11: "sim, aproximadamente 86,66 μm no fio de cabelo fino / 3m e 65,0 μm no fio de cabelo grosso / 2m.

Aluno 12: "sim, aproximadamente 86,66m no fio de cabelo fino / 3m e 65,0 μm no fio de cabelo grosso / 2m.

Aluno 13: *“Sim. Na distância de 2m espessura de 2,2. Na distância de 3m de espessura de 3,5.*

Aluno 14: *“Sim. Na distância de 2m espessura de 2,2. Na distância de 3m de espessura de 3,5.*

Aluno 15: *“Sim. Na distância de 2m espessura de 2,2. Na distância de 3m de espessura de 3,6.*

Aluno 16: *“aproximadamente 86,66 μ m com 3 metros e 65,0 μ m com 2 metros.*

Aluno 17: *“106,4”*

Comentários sobre as respostas

A parte experimental realizou-se em equipes, a sala foi dividida em 4 grupos de 5 alunos, onde cada grupo recebeu o kit com os materiais para realização do experimento. A Figura 11 registra algumas das figuras de difração obtidas pelos grupos.

Figura 11 – Figuras de difração da atividade experimental



Fonte: Própria autora

Após realizarem a prática, fizeram os cálculos referentes à espessura do fio de cabelo que estavam medido, e encontraram, a espessura do mesmo.

Pozebon num estudo em que realizou análises de fios de cabelo e características, afirma que: “O diâmetro de um fio de cabelo humano varia de 15 a 120 μm , dependendo da raça.” (POZEBON, 1999, p.839).

Souza et al. (2015) realizaram o experimento da difração para medir a espessura do fio de cabelo, fizeram a medida para três fios de cabelos diferentes que nomearam de Fio de cabelo A, Fio de cabelo B e Fio de cabelo C, os valores encontrados por eles foram 63 μm , 50 μm e 73 μm respectivamente. Para os mesmos fios os autores também fizeram a medida com o micrômetro, um instrumento usado para obter medidas de objetos micrométricos e para os Fios de cabelo A, B e C mediram 55 μm , 61 μm e 54 μm .

Os valores encontrados pelos autores com uso da difração da luz e também com o micrometro são bem próximos. Os resultados demonstram que o experimento é confiável e apresenta medidas precisas.

Diante das pesquisas apresentadas evidencia-se que os valores encontrados pelos alunos estão dentro do esperado. Os valores variaram de 58,3 μm a 106,4 μm .

Pelos valores verifica-se ainda que um dos grupos não realizou os cálculos da forma correta. Outros fizeram certo, mas expressaram o valor de forma errada na escrita. Como não houve tempo hábil, tornou-se inviável repetir o experimento com esta equipe. Para uma melhor eficácia da prática experimental, havendo carga horária suficiente, propõe-se que a aula teórica seja realizada em 1 hora / aula, e o experimento fosse realizado em 2 horas / aula seguidas, totalizando 3 horas / aula entre teoria e prática.

8.2.2 Diferenciando onda sonora da luminosa e a noção de comprimento de ondas

A segunda questão trabalhou-se durante a aula, uma vez que a partir do conceito de difração do som explicou-se a difração da luz.

2) Você consegue medir a espessura de um fio de cabelo utilizando uma onda sonora?

Respostas:

Aluno 1: *“Não”*

Aluno 2: *“Não por-que a onda sonora se movimenta.”*

Aluno 3: *“Não por-que a onda sonora se movimenta.”*

Aluno 4: *“Não. Porque a onda sonora é muito grande para o fio de cabelo que é muito pequeno.”*

Aluno 5: *“Não, porque não da para ver as ondas.”*

Aluno 6: *“Não.”*

Aluno 7: *“Não, porque usamos a difração da luz.”*

Aluno 8: *“Acredito que seja impossível e a onda sonora é invisível.”*

Aluno 9: *“Não, pois a onda sonora contorna o obstáculo.”*

Aluno 10: *“Não.”*

Aluno 11: *“Não.”*

Aluno 12: *“Não.”*

Aluno 13: *“Não.”*

Aluno 14: *“Não, pois a onda sonora contorna o obstaculo.”*

Aluno 15: *“Não.”*

Aluno 16: *“Não.”*

Aluno 17: “Não.”

Comentários sobre as respostas

Talvez o erro tenha sido não pedir para que justificassem a resposta. Embora a maioria tenham deixado de justificar o porquê não é possível medir o diâmetro do fio de cabelo usando uma onda sonora, “Não” era a resposta esperada, podendo perceber que a maioria compreendeu o conteúdo.

No entanto, quando o aluno justificou “*Não, pois a onda sonora contorna o obstáculo.*” essa resposta está incorreta. Uma vez que, não é porque a onda sonora contorna o obstáculo que não é possível utiliza-la nesse experimento, e sim, porque a ordem do comprimento de onda do som ser muito grande quando comparado ao diâmetro do fio de cabelo. Um dos alunos embora tenha expressado de forma diferente: “*Não. Porque a onda sonora é muito grande para o fio de cabelo que é muito pequeno.*”, parece ter entendido os conceitos.

8.2.3 Variando os valores

A terceira questão posterior a prática visava fortalecer o trabalho de razão x proporção, no entanto, o tempo estava terminando e poucos conseguiram variar os valores para analisar os resultados.

3) Usando as mesmas condições do experimento anterior e um fio de cabelo mais grosso, o novo tamanho do máximo de difração (y) deve ser maior ou menor?

Respostas:

Aluno 1: “*menor, pois dois tampará mais o poder do laser.*”

Aluno 2: “*Maior.*”

Aluno 3: *“Maior.”*

Aluno 4: *“Deve ser maior.”*

Aluno 5: *“menor”*

Aluno 6: *“menor”*

Aluno 7: *“maior.”*

Aluno 8: *“sim, maior”*

Aluno 9: *“Maior.”*

Aluno 10: *“Maior.”*

Aluno 11: *“Maior.”*

Aluno 12: *“Maior.”*

Aluno 13: *“Menor.”*

Aluno 14: *“Menor.”*

Aluno 15: *“Menor.”*

Aluno 16: *“Maior.”*

Aluno 17: *“Menor, pois tampara o poder do laser.”*

Comentários sobre as respostas

A resposta esperada era menor. Essa observação exige uma análise mais criteriosa, e precisou-se reconhecer aqui uma falha na elaboração da questão, dever-se-ia ter solicitado uma justificativa e que para responderem, tivessem feito uso da equação simplificada utilizada para o cálculo do diâmetro do fio de cabelo.

Nota-se que, em relação ao que se pretendia alcançar a maioria não teve uma aprendizagem significativa em relação ao trabalho com razão e proporção, visto que 10 alunos do total de 17 que responderam a esta questão apresentaram uma resposta insatisfatória, enquanto 7 responderam da forma esperada, mas podem ser “apenas” “chutes” certos.

Além da elaboração da questão, o tempo também pode ser considerado um fator relevante para tal resultado. Talvez se houvesse um tempo maior para repetir esta parte experimental, teriam feito uma análise mais criteriosa do que aconteceria.

8.2.4 Testando o experimento com novas distâncias

Na quarta e última questão posterior esperava-se que os aprendizes repetissem o experimento para novos valores de x , ou seja, alterassem a distância (laser + fio de cabelo) ao anteparo e analisassem as diferenças no padrão de difração quando se está mais próximo ou mais distante do anteparo.

4) Aumentando a distância (laser + fio) do anteparo o que acontece com y ?

Respostas:

Aluno 1: *“Continuou a mesma coisa, só aumentou um pouco a luz do laser.”*

Aluno 2: *“foi maior so que no final deu o mesmo resultado.”*

Aluno 3: *“foi maior so que no final deu o mesmo resultado.”*

Aluno 4: *“Ele aumenta.”*

Aluno 5: *“Aumento.”*

Aluno 6: *“Almenta.”*

Aluno 7: *“O y aumentou o valor, porque no inicio estava com 2,5 e após com 4,5 cm.”*

Aluno 8: *“O y foi aumentando no inicio estava com 2,5 e no final ficou com 4,5 cm.”*

Aluno 9: *“Aumenta o cm.”*

Aluno 10: *“Fica com cm diferentes.”*

Aluno 11: *“É o mesmo cm.”*

Aluno 12: *“É o mesmo centímetro.”*

Aluno 13: *“Aumenta o cm.”*

Aluno 14: *“Aumenta o cm.”*

Aluno 15: *“Aumenta o cm.”*

Aluno 16: *“É o mesmo centímetro.”*

Aluno 17: *“Sim. Foi maior mas no final deu o mesmo resultado.”*

Comentários sobre as respostas

Algumas equipes conseguiram repetir o experimento e verificar o que aconteceu, outras devido ao tempo que levaram para realizar a prática e os cálculos não conseguiram repetir, nem refletir sobre o experimento e corrigir possíveis erros. No entanto, pelas repostas constata-se que, mesmo com o tempo curto, conseguiram

ter uma noção e observar que, durante a realização do experimento, é possível notar que quando se aumenta a distância x (laser + fio), y aumenta e torna-se mais visível, permitindo fazer medidas mais precisas do tamanho do máximo de difração.

8.3 Observações gerais a respeito da aplicação

Para realização do experimento foram utilizados lasers verdes e vermelhos, o que varia nesses casos é o comprimento de onda, 532nm para o verde e 650nm para o vermelho. Com relação a nitidez das imagens obtidas o que se observa é que com o laser verde aparece mais forte, mais nítido, isso ocorre devido a potência do mesmo, entretanto os máximos e mínimos de interferência estão mais ou menos espaçados. Isso acontece porque o comprimento de onda do verde é menor em relação do vermelho. Com relação ao laser vermelho, que apresenta um maior comprimento de onda, a figura de difração obtida com este, os máximos e mínimos “aparecem” mais espaçados, o que facilita a observação e medida por parte dos alunos.

Sobre o exercício proposto, no qual foram estudados a conversão de unidades, todos conseguiram fazer, observando-se um ótimo desempenho na realização do mesmo. Depois, puderam reforçar os conceitos de conversão de unidades, ao fazerem o cálculo da espessura do fio de cabelo.

Em relação a encontrar o diâmetro do fio de cabelo, três das quatro equipes chegaram ao valor, podendo ainda repetir o experimento para outras distâncias. Uma das equipes fez alguma medida ou cálculo errado e o valor encontrado não foi dentro do esperado. O tempo foi suficiente para a atividade prática, no entanto, não houve tempo hábil para que a equipe que não chegou ao resultado “esperado” repetisse o experimento e encontrasse o erro.

De modo geral, ficou evidente que os alunos estavam bastante interessados e participativos, embora seja uma turma com bastante “dificuldades de aprendizagem” para a série, não só nesta disciplina, mas também no uso correto da língua portuguesa, como pode-se perceber pelos erros na escrita das respostas às questões solicitadas. Apesar da limitação da turma, considerou-se a atividade enriquecedora, envolvendo itens fundamentais no ensino do conteúdo da física e também no trabalho interdisciplinar com a matemática.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Encontrou-se um grande desafio trabalhar os conceitos de óptica discutidos nesse trabalho, devido ao nível em que a turma se encontrava. Mas com a aplicação do experimento os alunos puderam notar a diferença entre a difração do som facilmente percebida, em relação a difração da luz quase imperceptível, e compreenderem que isto ocorre devido aos comprimentos de onda, que no caso do som é da ordem de metros e da luz da ordem de nanômetros.

No fenômeno da difração, ocorre a combinação de ondas que passam num mesmo ponto no mesmo momento, isso pode ser explicado pelo Princípio de Huygens, em que um ponto comporta-se como uma fonte de distribuição de ondas secundárias

Durante a realização do experimento da difração, observou-se que a figura obtida apresenta regiões claras e escuras, por meio da qual, compreenderam que as regiões escuras representam os mínimos de difração, e as claras o máximo.

A prática possibilitou ainda, perceberem o fenômeno porque o obstáculo (fio de cabelo) tem tamanho aproximado ao comprimento de onda da luz monocromática (laser), ou seja, comparável ao comprimento de onda da radiação luminosa utilizada. A atividade possibilitou trabalhar no ensino médio um pouco da natureza ondulatória da luz, aspectos da óptica física, muitas vezes deixados de lado nessa fase do ensino.

A realização deste experimento contribuiu para que o fenômeno da difração fizesse sentido para os alunos, e percebessem que a Física está presente nas mais diversas situações do cotidiano. Permitindo ainda, que medissem a espessura do fio de cabelo. Com esta aula os aprendizes tiveram a oportunidade de visualizar o fenômeno da difração da luz, quando esta incide sobre obstáculos.

Discutir o fenômeno da difração com os alunos fez com que os mesmos compreendessem os aspectos da teoria ondulatória. E ainda, o comportamento da luz como onda, além da contribuição para interpretar melhor o mundo em que vivem.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, G.G.F; MENDES, B.B.C; BRITO, A.C.A; LIMA, J.R.T; RÊGO BARROS, K.C.T.F. **Experimentando a óptica: uma nova perspectiva para o ensino de física em turmas de ensino médio**. Congresso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación. Buenos Aires – Argentina, 2014.

AUSUBEL, David P. **Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva**. Lisboa: Plátano, Edições Técnicas, 2003.

BAGNATO, Vanderlei S. **Os fundamentos da luz laser**. Física na escola, v.2, n. 2, 2001.

BECHARA, M. J.; DUARTE, J. L. M.; ROBILOTTA, M. R.; VASCONCELOS, S. S.; **FÍSICA 4**. Disponível em: https://disciplinas.stoa.usp.br/pluginfile.php/333822/mod_resource/content/1/FISICA4.pdf, acesso em 14 de junho de 2016.

BOSS, Sérgio Luiz Bragato. **Ensino de eletrostática: a história da ciência contribuindo para a aquisição de subsunçores**. Dissertação (Mestrado)– Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências, Bauru, 2009

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio. Parte III Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Ministério da Educação; Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Brasília: MEC, 2000. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf> , acesso 16 de março de 2016.

CATELLI, Francisco; VICENZI, S. **Laboratório Caseiro: Transformando um Laser de Diodo para experimentos de Óptica Física**. Cad. Brás. Ens. Fís., v. 19, n.3: p.393-406, dez. 2002.

CAVALCANTE, Marisa Almeida; JARDIM, Vladimir; BARROS, José A. A. **Inserção de Física Moderna no Ensino Médio: Difração de um Feixe Laser**. Cad.Cat.Ens.Fís., v. 16, n. 2: p. 154-169, ago. 1999.

CAVALCANTE, Marisa Almeida; TAVOLARO, Cristiane R. C. **Uma oficina de física moderna que vise a sua inserção no ensino médio**. Cad.Cat.Ens.Fís., v. 18, n. 3: p. 298-316, dez. 2001.

EINSTEIN, Albert; INFELD, Leopold. **A evolução da física**. Trad. Giasone Rebuá. – Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2008.

FIGUEIRA, G.; DIAS, J. M. **A história do laser dava uma saga de Hollywood**. Disponível em : <http://gazetadefisica.spf.pt/magazine/article/269/pdf> acesso 24 de junho de 2016.

GRUPO DE REELABORAÇÃO DO ENSINO DE FÍSICA – GREF. **Física 2: Física Térmica / Óptica / GREF – 5. Ed. 3. Reimp.** – São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005.

HALLIDAY, David; HESNICK, Jearl Walker. **Fundamentos de Física: gravitação, ondas e termodinâmica.** Trad.: Ronaldo Sérgio de Biase. 2º Vol. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

HALLIDAY, David; HESNICK, Jearl Walker. **Fundamentos de Física: óptica e física moderna.** Trad.: Ronaldo Sérgio de Biase. 4º Vol. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

HALLIDAY, David; HESNICK, Jearl Walker. **Fundamentos de Física: óptica e física moderna.** Trad.: Ronaldo Sérgio de Biase. 4º Vol. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

LUZ, Sérgio Luis Corrêa da. **O ensino de física no enfoque ciência, tecnologia e sociedade (CTS):** uma abordagem da eletricidade a partir do método experimental investigativo / Sérgio Luis Corrêa da Luz. -- São Paulo; SP: [s.n], 2008. 237 p.

MOREIRA, M.A. **O que é afinal aprendizagem significativa?** Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/oqueefinal.pdf> acesso em 15 de abril de 2016.

MOREIRA, M.A., Caballero, M.C. e Rodríguez, M.L. (orgs.). **Actas del Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo.** Burgos, España. pp. 19- 44. Disponível em <http://moreira.if.ufrgs.br/apsigsubport.pdf> acesso em 26 de outubro de 2016.

MOREIRA, Marco Antônio. **Teorias de aprendizagem.** São Paulo: EPU, 1999.

NAPOLITANO, H. B.; THEODORO, J.E.; ELLENA, J. **Ênfase cognitivista no ensino da Lei de Bragg.** Disponível em: http://www.cienciamao.usp.br/dados/epef/_enfasecognitivistanoensi.trabalho.pdf
http://www.cienciamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=epef&cod=_enfasecognitivistan
oensi acesso em 09 de agosto de 2016.

NARDI, Roberto; CASTIBLANCO, Olga. **Didática da Física.** São Paulo: Cultura Acadêmica, 2014.

NUSSENZVEIG, Hersh Moysés. **Curso de Física Básica – vol. 4 – Ótica Relatividade Física Quântica.** São Paulo: Blucher – 1998.

OLIVEIRA, Fernando Arruda Mendes de; AZEVEDO, Eduardo R.; NUNES, Luiz Antonio de Oliveira. **O uso de um sensor de luz linear como recurso didático para demonstrar princípios de difração e espectroscopia.** Quim. Nova, Vol. 38, No. 3, 451-458, 2015.

OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C.J.H. Teorias de aprendizagem. Disponível em https://fasul.edu.br/portal/files/biblioteca_virtual/7/teoriasdeaprendizagem.pdf acesso em 16 de setembro de 2016.

POZEBON, Dirce; DRESLLER, Valderi L.; CURTIUS, Adilson J. **Análise de Cabelo:** uma revisão dos procedimentos para a determinação de elementos traço e aplicações. UFSC – QUÍMICA NOVA, 1999.

ROCHA, José Fernando M. (org.). **Evolução das ideias da física**. Salvador: EDUFBA, 2002.

SECRETARIA DE ESTADO DA EDUCAÇÃO DO PARANÁ. **DCEs-Diretrizes Curriculares da Educação Básica**. Paraná: 2008. Disponível em: http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/diretrizes/dce_fis.pdf acesso em 05 de outubro de 2016.

SÉRÉ, M.G et al. **O papel da experimentação no ensino de física**. Cad.Bras.Ens.Fís., v.20, n.1: 30-42, abr. 2003.

SERWAY, Raymond A; JEWETT JR, John W. **Física para cientistas e engenheiros**. V.4 – Luz, óptica e física moderna. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

SERWAY, Raymond A; JEWETT JR, John W. **Princípios de Física - Vol.4 - Óptica e Física Moderna**. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

SOUZA, L.A. ; SILVA, L. da; HUGUENIN, J.A.O.;BALTHAZAR, W.F. **Discutindo a natureza ondulatória da luz e o modelo da óptica geométrica através de uma atividade experimental de baixo custo**. Rev. Bras. Ensino Fís. vol.37 no.4 São Paulo Oct./Dec. 2015

STARIOLO, D. A. **Física da Matéria Condensada**. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/~stariolo/ensino/curso_2009.pdf, acesso em 15 de fevereiro de 2016.

TIPLER, Paul A.; LLEWELLYN, Ralph A. **Física Moderna**. Rio de Janeiro, LTC, 2006.

TIPLER, Paul Allan; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros, v.1: mecânica, oscilações e ondas, termodinâmica**. Tradução: Fernando Ribeiro da Silva, Gisele Maria Ribeiro Vieira. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

ZILIO, S.C. **Óptica Moderna: Fundamentos e Aplicações**. Disponível em: <http://www.fotonica.ifsc.usp.br/ebook/book1/Optica-Moderna.pdf> acesso em 03 de junho de 2016.

ANEXO

 <p>MNPEF Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física</p>	 <p>UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ Centro de Ciências Exatas Departamento de Física</p>	 <p>SBF SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA</p>
--	---	--

PRODUTO EDUCACIONAL

Utilizando um fenômeno físico para medir o diâmetro de um fio de cabelo

Desenvolvido por: Marina Aparecida Ferreira de Oliveira
Orientado por: Prof. Dr. Breno Ferraz de Oliveira

MARINGÁ
Novembro de 2016

APRESENTAÇÃO

O presente trabalho trata-se de um Produto Educacional¹, que pode ser definido como uma sequência didática que poderá ser utilizada por professores de física para o ensino de ondas, difração da luz e conversão de unidades. Auxiliará ainda a realização de um experimento simples, porém, que ajudará a compreender tais conceitos.

O Produto foi elaborado visando despertar nos alunos o interesse pela física e levá-los a refletir que a mesma está presente nas diversas situações do seu cotidiano. O tema apresentado será tratado de forma contextualizada e de maneira interdisciplinar, contará com questões problematizadoras, podendo ser desenvolvido com alunos do Ensino Médio.

A sequência didática é composta por um manual de procedimentos para aplicação em sala e também para a realização do experimento da difração. A atividade experimental com uso desse fenômeno permite calcular medidas micro, ou seja, pequenas, como o diâmetro de um fio de cabelo.

Este Produto conta com questões prévias à prática, bem como questões posteriores à aula, buscando com estas identificar os conceitos prévios dos alunos sobre o conteúdo de ondas, difração e outros, bem como, identificar a compreensão dos mesmos após a aula. Apresenta também Slides que poderão ser utilizados pelo professor durante a aula, com explicações sobre os conteúdos que devem ser abordados em cada um deles. Estes poderão ser usados de forma a auxiliar a aula e desenvolvimento do tema.

Os alunos realizarão o experimento para calcular a espessura do fio de cabelo. Este procedimento ajudará a fortalecer o entendimento do fenômeno da difração, bem como ajudará a fortalecer o trabalho com conversão de unidades e conceitos de razão e proporção.

Espera-se que este trabalho contribua para com os professores de física no ensino de conteúdos da óptica física, e que estes trabalhem conceitos matemáticos de forma interdisciplinar e os conceitos físicos de maneira descontextualizada, utilizando exemplos conhecidos pelos aprendizes e considerando seus

¹ Tanto o Produto Educacional quanto os Slides utilizados na aula, estão disponíveis no seguinte endereço: <https://www.dropbox.com/sh/cuvy4lctdawjh3/AACCqoGaWEu8VJxljQ0kEzAGa?dl=0>

conhecimentos prévios para aquisição dos novos, e que estes passem a fazer sentido para os alunos ajudando a interpretar o mundo em que vivem, e que saibam lidar com leis, conceitos e teorias científicas.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	2
1 A FUNÇÃO DA EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA	5
2 A FONTE LASER E SUAS APLICAÇÕES NA CIÊNCIA E NA TECNOLOGIA	7
3 O FENÔMENO DA DIFRAÇÃO.....	12
4 DIFRAÇÃO E A LEI DA BRAGG	18
5 ESTRUTURA E DINÂMICA DA AULA.....	23
5.1 Situação-problema	23
5.2 Questões prévias a realização do experimento	23
5.3 Conteúdos a serem abordados durante a aula	25
6 PRÁTICA EXPERIMENTAL PARA MEDIR O DIÂMETRO DO FIO DE CABELO.....	32
6.1 Questões posteriores a realização do experimento	35
7 SÍNTESE FINAL	36
8 REFERÊNCIAS	37

1 A FUNÇÃO DA EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA

O uso de experimentos na sala de aula acontecem por demonstração por parte do professor, onde o aprendiz apenas observa o fenômeno, ou ocorrerem na sala/laboratório, onde os alunos fazem uso de materiais, observando e testando. O emprego de experimentos em sala de aula, aliado às teorias, pode ser de grande valia para a aprendizagem, uma vez que dão oportunidade aos alunos de relacionarem os conhecimentos empíricos a conceitos e linguagens científicas. Além disso, permite dar sentido aos acontecimentos, despertando o caráter investigativo, orientando os aprendizes na compreensão de fenômenos, modelos explicativos, bem como para aprender a fazer o uso da linguagem científica.

Séré et al, afirmam que *“...por meio de atividades experimentais o aluno consegue mais facilmente ser ator na construção da ciência, já que a experiência demonstrativa seria mais propícia para um enfoque dos resultados de uma ciência acabada”*. (SÉRÉ et al, 2003, p. 39)

Sabe-se que na ciência, os conhecimentos científicos não vêm prontos e acabados, mas estão sempre em construção, sujeitos à mudança, e até serem substituídos por um novo, pois, o que é válido hoje futuramente poderá não o ser. Daí a importância de despertar no aluno o gosto pela pesquisa, pela investigação, para que não sejam meros repetidores, mas que busquem alternativas e participem do processo de construção, de descoberta, da tomada de decisões. E por fim, que saibam fazer e entender leituras de textos científicos, contribuindo para a cidadania.

As aulas experimentais não devem ocorrer de forma isolada, mas sim serem precedidas de aulas teóricas, para que os alunos tenham uma visão do que irão estudar, isso permitirá uma melhor eficácia no desenvolvimento do experimento. Levando-se em consideração, que o uso de procedimentos facilitam a organização e a coleta de dados, auxiliando na realização do mesmo e contribuindo para que os objetivos sejam alcançados.

Nardi sobre o uso da experimentação, considera que:

“[...] vai além de “motivar” ou “cativar” o aluno. Ela é importante, entre outros aspectos, para orientar os alunos na compreensão de suas formas de explicar e interagir com os colegas visando aprimorar raciocínios e ampliar sua linguagem científica.” (NARDI, 2014, p. 111).

A prática experimental funcionará como uma estratégia para que os alunos sejam instigados à pesquisa, a novas descobertas, ao enriquecimento científico, favorecendo a aprendizagem significativa. Cabe ao docente mediar esta atividade, de forma a levar os alunos a uma reflexão, bem como desafiá-los a resolver problemas.

Andrade et al. (2014) salienta:

Diante desta dificuldade de contextualização, encontramos uma ferramenta didática, que possibilita atender os anseios de uma aprendizagem significativa, a experimentação. A Experimentação permite que o estudante tenha um contato com a Física de uma forma diferente da sua rotina nas aulas tradicionais, servindo como um elo entre a teoria e a prática. (ANDRADE et al., 2014, p. 6).

Em capítulo anterior comentamos que o trabalho interdisciplinar pode ajudar a resolver o problema da descontextualização no ensino de Física, e como pode-se perceber, a experimentação também é uma forma de resolver essa situação. De acordo com Andrade (2014), o uso de experimentos no ensino de Física contribuem para a reestruturação dos saberes e reflexão sobre os conhecimentos prévios, de maneira que ocorra a aprendizagem significativa.

2 A FONTE LASER E SUAS APLICAÇÕES NA CIÊNCIA E NA TECNOLOGIA

A invenção do laser pode ser considerada revolucionária, uma das mais fascinantes da humanidade, presente na tecnologia moderna da fibra ótica, dos leitores de códigos de barras, entre várias outras aplicações. As primeiras ideias sobre o laser surgiram com Einstein, quando propôs o conceito de radiação estimulada ou emissão estimulada de luz.

Décadas depois um professor da Universidade da Columbia, Charles Townes anuncia o MASER (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation) que quer dizer Amplificação de Microondas por Emissão Estimulada de Radiação. No entanto, Townes tentava criar um aparelho que emitisse luz visível, entretanto, mais difícil de amplificar. Com a ajuda de Arthur Schawlow investiu no desenvolvimento do Maser Óptico.

Segundo Figueira e Dias (2005), Gordon Gould em 1957, teve uma ideia de como resolver o problema de estimulação da luz visível, em suas anotações introduziu o termo “L” Laser no lugar do “M” do Microwave. No entanto, Gordon imaginava que para patentear precisava criar o Laser, apenas autenticou o caderno em cartório, sem saber que podia registrar a ideia, quando resolveu fazer isso, descobriu que Townes e Schawlow já tinham registrado.

Por volta de 1960, Theodore Maiman opera o primeiro laser de rubi, emitindo luz vermelha, que consistia de uma barra de rubi (cristal transparente), envolvida por um tubo *flash* contendo gás que emite luz.

Somente em 1987, Gould conseguiu os direitos sobre a patente. Neste período a tecnologia dos lasers de Gould estava sendo amplamente utilizado, tanto na indústria, quanto na medicina.

De acordo com Bagnato, o laser surgiu a partir da ideia do átomo, definido por Dalton como uma “minúscula partícula, indestrutível, podendo combinar-se e produzir diferentes espécies de matéria”, depois por Rutherford após experimentos como: *“...constituído de uma parte central, que foi denominada núcleo. Esse caroço central apresenta uma carga elétrica positiva. O tamanho desse núcleo seria bastante pequeno em relação ao tamanho do átomo (de 10.000 a 100.000 vezes maior)”*

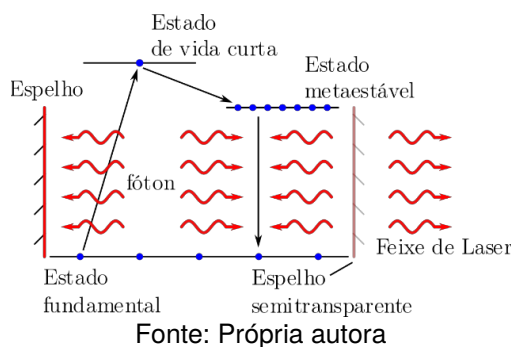
(BAGNATO, 2001, p. 5). Logo depois Niels Bohr explicou a energia dos elétrons a partir das ideias de Planck, surgindo a ideia dos fótons.

O laser funciona como uma fonte de luz, com características e propriedades que o tornam muito utilizado em instrumentos tecnológicos e também científicos. Tem como uma de suas propriedades a questão de ser monocromático, quer dizer, tem comprimento de onda específico. É coerente, pois, um fóton estimula outro, ou seja, a emissão dos fótons transcorre em fase e de maneira colimada, com feixes estreitos, paralelos, sendo emitidos numa determinada direção, ocorrendo um mínimo de dispersão.

Zilio (S/D)² destaca que “[...] A natureza especial deste tipo de radiação eletromagnética tornou a tecnologia laser uma ferramenta vital em quase todos os aspectos da vida diária, incluindo comunicações, diversão, fabricação, e medicina”. (ZILIO, s.d., p. 209)

A fonte laser produz feixes de luz concentrados, e um intenso feixe de fótons por meio de emissão estimulada. O princípio básico de funcionamento de um Laser, consiste em fornecer energia para um material, que usa essa energia para tirar os seus elétrons do estado fundamental e colocar em um nível mais energético. Esses elétrons acabam decaindo para um nível de energia metaestável. Nesse caso temos a chamada inversão de população. Um fóton, como energia igual da diferença de energia entre o estado metaestável e o estado fundamental, pode estimular a emissão de fótons idênticos devido ao decaimento dos elétrons do estado metaestável para o estado fundamental. A figura 1 ilustra o esquema da emissão estimulada. O espelho semitransparente serve para que alguns fótons retornem e continuem a estimular a emissão.

Figura 1: Desenho esquemático do funcionamento de um Laser.



² Zilio (S/D): no material não consta data da edição.

Existem vários tipos de laser, os mais conhecidos são o de rubi, o de gás e o de semicondutor. No **Laser de rubi** o componente principal deste é o rubi, minério composto de átomos de alumínio, oxigênio e cromo, apresenta coloração avermelhada.

Tipler traz que uma das características do laser a rubi é que uma extremidade do cristal com 100% de reflexão, sendo completamente espelhada, e a outra extremidade acopladora, parcialmente espelhada e 85% refletora. Assim:

Quando os fótons se deslocam paralelamente ao eixo do cristal atingem as extremidades espelhadas, todos são refletidos na parte de trás e 85% são refletidos na parte da frente, com 15% dos fótons escapando através da face frontal parcialmente espelhada. (TIPLER, 2006, p. 372).

Ao passar pelos cristais, os fótons estimulam mais átomos e emitem um feixe de luz intenso a partir da extremidade espelhada. Os feixes duram poucos segundos, mas a energia envolvida nesse processo é intensa.

No **Laser a Gás** os principais elementos são os gases Hélio e Neônio, numa composição de 15% e 85%, respectivamente. Nesse tipo de laser os átomos de hélio são excitados por descargas elétricas até atingirem um estado acima do fundamental, colidem com os átomos de neônio e excitam alguns deles, ocorre inversão da população e a emissão de fótons estimula outros átomos a emitir fótons.

Os **Lasers de semicondutor – lasers a diodo ou lasers de junção**, são lasers de tamanho pequeno e de custo acessível. Um dos mais utilizados na produção da fonte laser, em equipamentos de CD e DVD e como apontadores em apresentações.

O funcionamento dos lasers semicondutores tem aspectos semelhantes aos lasers a gás He-Ne. Com exceção que se deve incorporar as bandas de energia. Serway e Jewett Jr (2014) destacam que o **Diodo de junção** “[...]é um dispositivo baseado na junção simples *p-n*” (2014, p. 291). A camada *p* contém cargas positivas e a camada *n* cargas negativas. A junção **pn** permite a passagem de corrente em apenas uma direção, ou seja, um único sentido para a corrente.

Cavalcante, explica:

Quando aplicamos uma diferença de potencial na zona de depleção (junção dos materiais *p* e *n*) ocorre uma troca de cargas entre os materiais dando origem a uma corrente de elétrons e uma corrente de lacunas. Durante esta troca existe uma recombinação entre elétrons e lacunas. Para que um elétron recombinar com uma lacuna é necessário que ele caia para a banda de valência, neste processo o elétron perde energia que é liberada sob a forma de um fóton (CAVALCANTE, 1999, p. 158).

Assim, estabelece-se um equilíbrio com a difusão de elétrons para o lado p e das lacunas para o lado n . O laser de semicondutor atuando em altas correntes, produz uma inversão de população permitindo que aconteça a emissão estimulada.

O GREF – Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, define a fonte Laser como:

A fonte laser (light amplification by simulated emission of radiation – amplificação da luz estimulada por radiação) é basicamente constituída de uma fonte de energia (bombeador), em geral uma lâmpada de descarga, que excita átomos ou moléculas (meio), no interior de uma cavidade ressoadora. (GREF, 2005, p. 324).

Na Mecânica Quântica, o GREF (2005), destaca que as radiações visíveis ou não, são constituídas de fótons (pacotes de energia). O funcionamento dos lasers e a produção de luz nos mesmos se baseia na hipótese de emissão estimulada, no qual um fóton incide sobre o átomo e estimula a produção de um fóton idêntico, caso haja um elétron com energia de excitação correspondente a do fóton incidente.

Segundo Bagnato:

“[...] a luz do laser provém justamente da emissão que ocorre quando elétrons decaem de seus níveis energéticos de forma estimulada, produzindo um feixe de luz onde todas as pequenas porções (fótons) comportam-se identicamente”. (BAGNATO, 2001, p. 7)

Isto acontece porque os fótons são emitidos por meio do decaimento para um nível de energia menor. Este decaimento que permite obter os lasers.

Bagnato (2001) ressalta que a monocromaticidade da luz laser ocorre porque a energia do fóton estimulante é igual a energia do fóton emitido, por essa razão ao observar uma luz laser percebe-se apenas uma linha, uma só cor, um único comprimento de onda. Alguns lasers têm altas intensidades, devido à potência dos feixes, como nos lasers pulsados em que a energia acumulada é emitida num curto intervalo de tempo.

Suas características e propriedades permitem detectar com precisão o Efeito Doppler, a absorção e o espalhamento, e ainda na identificação de vazamento de óleos e outros poluentes, no estudo das células biológicas, na espectroscopia, na leitura do código de barras.

O laser tem várias aplicações como o uso para cortar, soldar, também na medicina, nas cirurgias a laser, nas telecomunicações por meio de fibras ópticas. Nas medições de grandes distâncias, através do alinhamento e pela reflexão de um pulso

laser a partir de um espelho, servindo como por exemplo, para medir a distância até a lua, mecanismo muito utilizado neste caso.

No ensino de Física, os lasers são utilizados principalmente em experimentos e demonstrações da óptica física, Catelli, argumenta que:

[...] com alguma teoria, poderemos fazer dele um instrumento de medida realmente impressionante. Será possível medir o diâmetro de fios, a abertura de fendas e pequenos orifícios, o número de linhas de CDs, o número de linhas em fitas de controle dos cartuchos de algumas impressoras jato de tinta, telas de serigrafia e outras façanhas que você mesmo poderá inventar. (CATELLI, 2004, p. 321).

Logo, os Lasers são considerados um instrumento de grande utilidade, principalmente no estudo da óptica. No entanto, para que as medidas realizadas com os mesmos possam ser mais precisas, torna-se essencial conhecer o comprimento de onda (λ) do laser, geralmente informado no próprio equipamento pelo fabricante.

Nos conteúdos de óptica, os Lasers são utilizados principalmente em experimentos sobre difração da luz. Neste caso, utilizam-se lasers devido as suas propriedades de ser monocromático e coerente, o que evita que ocorra dispersão, daí o porquê utilizar este tipo de luz no experimento de difração.

3 O FENÔMENO DA DIFRAÇÃO

Para entender como ocorre o fenômeno da difração, recomenda-se primeiramente compreender o conceito de ondas. Como exemplo de ondas temos a formação de círculos quando uma pedra é jogada em uma poça de água, ocasionando uma perturbação que dão origem as ondas. Temos também, as ondas causadas por meio de pulsos em uma corda, as ondas sonoras, eletromagnéticas, entre outras. No entanto, as ondas transportam energia, mas não transportam matéria.

Quando as ondas contornam obstáculos, como por exemplo, as ondas do mar contornam pedras, barcos, lanchas; o som da TV pode ser escutado em outro ambiente sem ser o que nós estamos, isto ocorre porque as ondas estão desviando, ou seja, estão sofrendo *difração*. Esse fenômeno da difração verifica-se tanto em ondas mecânicas, quanto em ondas eletromagnéticas.

Os exemplos mais usuais de ondas mecânicas são as do mar, da corda (pulsando), as sísmicas e as sonoras, tais ondas necessitam de um meio material para se propagar. A luz visível, a radiação ultravioleta, os raios-x, são exemplos de ondas eletromagnéticas. Elas não precisam de meio material para se propagar e consistem de um conjunto de campos elétricos e magnéticos, perpendiculares entre si, que se propagam a velocidade da luz.

As ondas sonoras, são ondas mecânicas, que se propagam no ar. Halliday (2009) as define como uma onda longitudinal, citando algumas aplicações científicas para essas ondas, como por exemplo: são usadas como sondagem para localizar petróleo, navios usam para detectar submarinos.

Mas afinal, o que são ondas transversais e longitudinais? Para entender as ondas transversais, tomemos como exemplo ondas mecânicas, como as de uma corda, na forma de pulsos que se propagam ao longo da mesma. Estas sobem e descem, ocorrendo somente na transversal, é perpendicular à direção de propagação da onda, daí o nome de ondas transversais.

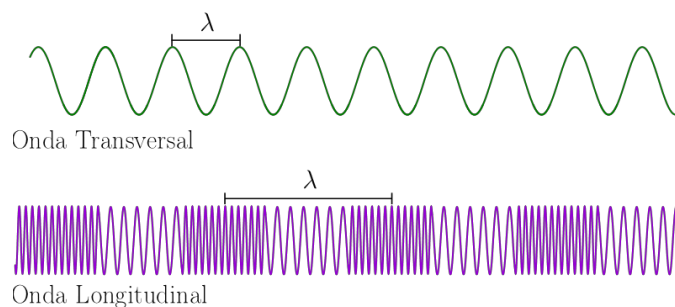
Tipler, explica o caso das ondas na corda, causadas por perturbações:

[...] quando uma corda esticada é tocada o pulso produzido se propaga através da corda, como uma onda. A perturbação, nesse caso, é uma mudança na corda a partir de sua posição de equilíbrio original. A propagação surge graças a interação de cada segmento da corda com os segmentos adjacentes. Os segmentos da corda (meio físico) se movem na direção

perpendicular à corda, conforme o pulso nela se propaga para cima e para baixo. (TIPLER, 2006, p. 523).

Já quando a direção de propagação é paralela a perturbação, ocorrem ondas longitudinais, como por exemplo as ondas sonoras. As ondas longitudinais tem a direção de oscilação dos corpos, ocorrendo para frente e para traz. Como exemplo cita-se uma mola helicoidal, onde o movimento ocorre na direção de propagação. A figura 2 traz uma representação das ondas transversal e longitudinal.

Figura 2: Representação esquemática de uma onda transversal (figura acima) e de uma onda longitudinal (figura abaixo).



Fonte: Própria autora

A velocidade com que essas ondas se propagam depende do meio, podendo ser, por exemplo, a água ou o ar, e essa diferença na propagação em função do meio é denominada *refração*. Quando se está em um ambiente em que os sons produzem eco, está ocorrendo *reflexão*. As ondas possuem algumas características que permitem identifica-las, tais como a propagação, a frequência e o comprimento de onda.

Quando a luz se difrata, apresenta comportamento característico de uma onda. Logo, a difração é um fenômeno ondulatório, podendo ocorrer em diversos tipos de ondas eletromagnéticas. No entanto, daremos ênfase a difração da luz visível. Esta acontece quando ela passa por uma fenda estreita, e também quando passa por um obstáculo pequeno.

No momento em que uma frente de onda sofre um bloqueio parcial por um obstáculo, a parte não bloqueada sofre um desvio, dando origem ao fenômeno de difração.

Algumas diferenças são estabelecidas em relação à difração da luz visível e às ondas sonoras. A observação do fenômeno da difração depende do comprimento de onda, uma vez que se este for grande em relação ao tamanho da fenda o efeito da

difração é maior, oportunizando que seja melhor observado. Se o comprimento de onda é pequeno, a difração é menor.

Tipler, ressalta que:

Uma vez que os comprimentos de onda dos sons audíveis (faixa que varia desde uns poucos centímetros até diversos metros) são geralmente grandes quando comparados às dimensões das fendas e dos obstáculos comuns (portas ou janelas, e pessoas, por exemplo), pode-se frequentemente observar o fenômeno da difração das ondas sonoras. Por outro lado como os comprimentos de onda da luz visível (4×10^{-7} a 7×10^{-7} m) são muito pequenos quando comparados com as dimensões de objetos comuns e fendas, a difração da luz não é notada facilmente; à primeira vista, a luz parece se propagar em linha reta. (TIPLER, 2006, p. 545).

Pelo motivo dos comprimentos de ondas sonoras serem grandes, os efeitos da difração ficam mais evidentes, notáveis, fazendo que seja possível ouvir as pessoas conversando do outro lado do muro, ouvir um sino tocar a alguns quilômetros de distância. O mesmo não ocorre com a luz, uma vez que esta tem comprimentos de onda pequenos.

De acordo com GREF *“A difração da luz só pode ser percebida quando esta atravessa fendas de dimensões muito pequenas, e isso se deve ao fato de seu comprimento de onda também ser muito pequeno.* (GREF, 2005, p. 218).

Sabe-se que tal fenômeno é observado somente quando o comprimento de onda é proporcional ao obstáculo ou fenda. Por isso, é possível visualizar a difração da luz, quando esta for incidida em objetos / obstáculos de diâmetros pequenos, como é o caso do fio de cabelo.

Ao atravessar uma fenda, além do fenômeno da difração, tem-se a possibilidade de ocorrer o fenômeno de interferência, sendo possível notar, neste caso, regiões claras e escuras. Serwey e Jewett (2014) ao especificarem este fenômeno, argumentam que essas regiões são chamadas de padrão de difração.

Um padrão de difração, de acordo com os autores, são obtidos, quando uma luz de laser for projetada para passar por uma fenda estreita ou um obstáculo e for refletida numa tela ou anteparo. Isto possibilita que se observem regiões claras e escuras. Portanto, o padrão de difração consiste de uma faixa central clara e intensa (máximo central) ao lado de uma série de faixas mais estreitas e menos intensas (máximos laterais ou secundários) e por faixas escuras (mínimos).

Para o GREF :

[...] O surgimento dessas regiões é explicado pela não existência de ondas reemitidas em quantidade suficiente para recompor toda a frente incidente. As novas ondas reemitidas se propagam, atingindo certos pontos do espaço em fase (regiões claras) e outros pontos, defasadas (regiões escuras). (GREF, 2005, p. 219)

As regiões claras e escuras descritas pelo autor são observadas em experimentos, nas chamadas figuras de difração, onde as regiões claras ou iluminadas representam a parte atingida pela luz que contornou o obstáculo. As regiões escuras constituem as partes não atingidas pela radiação, ou seja, a luz foi interceptada pelo obstáculo.

Sobre estas regiões Einstein e Infeld dizem:

Suponha-se que temos uma folha de papel escuro com dois furos de alfinete através dos quais a luz pode passar. Se os furos estiverem juntos e forem muito pequenos, e se a fonte de luz homogênea for suficientemente forte, aparecerão sobre a parede muitas faixas claras e escuras, desvanecendo gradativamente dos dois lados para o fundo escuro. A explicação é simples. Uma faixa escura é onde a cava de uma onda de um dos furos se encontra com a crista de uma onda com outro furo, de forma que as duas se anulam. Uma faixa iluminada é onde duas cavas ou duas cristas se encontram e se reforçam. (EINSTEIN; INFELD, 2008, p. 102).

O fenômeno relatado pelos autores é o da difração, que ocorre quando um obstáculo intercepta a luz, ou quando esta passa por uma fenda. Explicando ainda o porquê das partes claras e escuras na figura de difração formada neste acontecimento. De acordo com os autores: *“A luz só revela a sua natureza ondulatória quando são usados obstáculos e aberturas muito pequenas”*. (EINSTEIN; INFELD, 2008, p. 101).

Dessa forma, para se observar a difração da luz é necessário que o tamanho dos obstáculos sejam comparáveis ao do comprimento de uma onda luminosa. Na difração, portanto, quanto menor a largura da fenda, maior é o espalhamento ou alargamento causado pela difração.

Para compreender melhor a difração, que acontece quando a onda encontra um obstáculo, faz-se primordial introduzir o conhecimento sobre óptica ondulatória, descrita por meio do Princípio de Huygens. A primeira pessoa a apresentar uma teoria satisfatória para a luz foi o físico holandês Huygens, em 1678. Uma teoria matemática simples e que permitiu explicar as leis da refração e da reflexão, além de se utilizar de uma construção geométrica que tornou possível prever onde estará uma frente de onda em qualquer momento.

Einstein e Infeld ressaltam que para Huygens a luz é uma onda, na qual há transferência de energia, mas não de substância. Tal observação foi feita quando comparou que as ondas formadas na água espalham-se.

Nussenzveig, destaca que, Huygens teria sido motivado pelas observações feitas num tanque com água. Nesse tanque, formavam ondas na sua superfície, no qual, uma frente de onda atingindo uma barreira com um furo, formava do outro lado ondas circulares, isto porque a frente que não estava obstruída funcionava como uma fonte puntiforme. Logo:

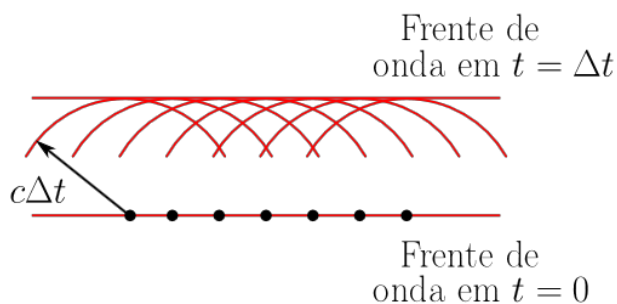
Dada um frente de onda inicial, Huygens propõe uma construção geométrica para obter a frente de onda num instante posterior: considera-se todas as ondas secundárias emanadas de pontos da frente de onda inicial não obstruídos por obstáculos. A frente de onda no instante posterior é a envoltória dessas ondas secundárias. (NUSSENZVEIG, 1998, p. 4).

Segundo este princípio, cada ponto do meio de propagação é um reemissor de novas ondas com mesmo comprimento e frequência da onda de origem, e quando se propagam ocupam posições perpendiculares ao raio da onda. Hallyday, sobre o Princípio de Huygens diz o seguinte:

“Todos os pontos de uma frente de onda se comportam como fontes pontuais de ondas secundárias. Depois de um intervalo de tempo t a nova posição da frente de onda é dada por uma superfície tangente a essas ondas secundárias”. (HALLYDAY, 2009 p. 77).

A figura 3 ilustra esse princípio, na qual, uma onda plana no vácuo, no tempo zero, apresenta vários pontos, de onde se originam as ondas. E depois de um certo intervalo de tempo surgem novas fontes pontuais de ondas secundárias, a partir dos pontos iniciais.

Figura 3: Representação do Princípio de Huygens, no qual cada ponto da onda da origem a uma nova frente de onda.



Fonte: Própria autora

Bechara et. al. explicam este princípio em outras palavras:

[..] uma vez perturbado, cada ponto do meio se comporta como uma fonte puntiforme. Essa fonte puntiforme emite ondas em todas as direções e, no vácuo, ou em meio homogêneo não dissipativo, a propagação se dá em todas as direções com a mesma velocidade. Assim, a fonte puntiforme gera uma onda esférica. Os raios da onda esférica tem a direção radial com origem na fonte, representada por um ponto, e as frentes de onda são superfícies esféricas concêntricas com a fonte. (BECHARA, 2014, p. 144).

Os autores destacam ainda tópicos importantes a respeito do princípio de Huygens, o primeiro é a frequência, que segundo eles independente do meio em que ela se propaga, continuando a mesma da onda de origem. E um segundo ponto: a velocidade, cuja onda secundária tem a mesma velocidade da que a originou.

4 DIFRAÇÃO E A LEI DA BRAGG

O fenômeno da difração também ocorre com os raios-X, que são ondas eletromagnéticas com comprimento de onda muito curtos. Os raios-X foram descobertos por Roentgen em 1895, apresentam comportamento semelhante ao da luz visível. Laue, em 1912, observando um monocristal de Sulfato de Cobre explicou o fenômeno da difração desses raios.

Segundo Napolitano, a difração tem várias aplicações na ciência, cujas implicações:

[...] sustentam o arcabouço teórico das técnicas difratométricas como, por exemplo, a cristalografia de raios X. É um assunto bem conhecido de todos que estudam fenômenos ondulatórios, sendo abordado por vários livros texto e ilustrado por diversas experiências de Química e/ou Física. Pode ser utilizada para explicar desde a localização dos máximos e mínimos na experiência de fenda única até a descrição de padrões observados em sólidos cristalinos quando expostos à radiação X (NAPOLITANO, 2004, p. 3).

Tal fenômeno portanto, é aplicado também aos raios-X, e assim como a difração da luz, a difração de raios-X pode ser explicada pelo Princípio de Huygens, já especificado anteriormente. O Cristal observado por Laue é visto como uma rede de difração tridimensional. Segundo Napolitano (2004), quando os Bragg estudaram os sólidos cristalinos tinham a intenção de determinar as características estruturais destes a partir dos padrões de difração.

O autor ressalta que:

[...] o trabalho dos Bragg marca o nascimento da difratometria de raios X, de grande interesse para identificação dos elementos químicos presentes em uma amostra, e o uso da difração para obtenção de estruturas moleculares e cristalinas. Assim como através da difração da luz visível podemos observar as franjas de Young e calcular a separação entre as fendas, também podemos, através da difração de raios X, observar o padrão de difração e reconstruir o retículo associado ao ordenamento dos átomos no cristal. (NAPOLITANO, 2004, p. 7)

O fenômeno da difração permitiu grandes avanços, com o trabalho dos Bragg, definiu-se a equação:

$$2d \sin \theta = m\lambda \text{ para } m = 1, 2, 3, \dots \text{ (Lei de Bragg)}$$

Esta equação de acordo com Halliday (1999 p. 134), é um dos critérios para que a intensidade da difração seja máxima. Da Lei de Bragg, temos que **m** é um

número de ordem (inteiro) de um dos máximos de intensidade, d corresponde a distância entre os planos, λ ao comprimento de onda do feixe de luz e θ chamado de ângulo de Bragg.

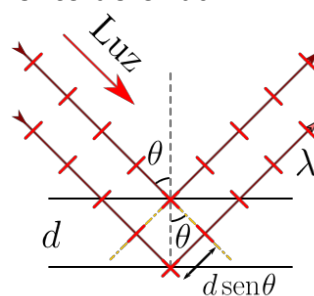
A equação ficou conhecida como Lei de Bragg em homenagem ao físico inglês W. L. Bragg, primeiro a demonstrá-la. W. L. Bragg e seu pai W. H. Bragg receberam o prêmio Nobel da Física em 1915, por estudar a estrutura de cristais com o uso de raios X.

Stariolo, sobre a Lei de Bragg diz que:

Se fazemos incidir um feixe de ondas planas sobre uma estrutura formada por uma série de planos paralelos, as ondas irão refletir nos sucessivos planos e um padrão de interferência será produzido pelas ondas refletidas. Duas ondas sendo refletidas em dois planos separados por uma distância d irão sofrer interferência construtiva apenas se a diferença de caminho entre ambas for um número inteiro de comprimentos de onda: $2 d \sin \theta = n \lambda$. (STARIOLO, 2009, p. 5).

Portanto, a Lei de Bragg envolve três variáveis, d , θ e λ . Como pode ser observado na Figura 4.

Figura 4: Reflexão de um feixe de raios-X para dois planos cristalinos. As linhas vermelhas representam a frente de onda e a distância entre elas correspondem a um comprimento de onda λ .



Fonte: Própria autora

Na figura 4, é possível observar que, o padrão de interferência construtiva só será formado se a diferença de caminho entre o feixe refletido na superfície superior e o feixe refletido na superfície inferior, for múltiplo do comprimento de onda do feixe. Isto é, em uma linguagem matemática

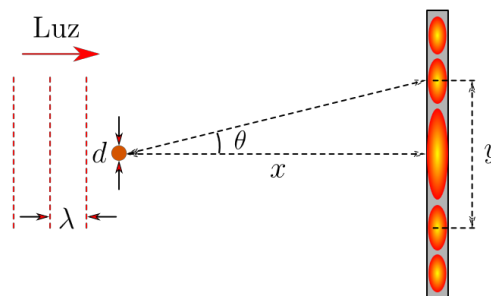
$$2d \sin \theta = m \lambda,$$

onde d é a distância entre o plano, θ é o ângulo que os feixes incidentes fazem com o eixo perpendicular dos planos e m é o número inteiro de múltiplos comprimento de onda λ .

Quando um feixe laser, que consiste em uma luz monocromática, polarizada e coerente, é obstruído por um fio de cabelo, um padrão de interferência também é produzido devido a diferença de caminho. A figura 5 ilustra esse fenômeno.

Da mesma forma como na Lei de Bragg, deve haver uma relação entre as grandezas físicas, presentes na figura 5. Essa relação nos permite encontrar o diâmetro de um fio de cabelo. Para esse propósito, é essencial verificar para qual condição ocorre uma diferença de caminho óptico entre os feixes que passam do lado esquerdo (cima) e direito (baixo) do fio de cabelo.

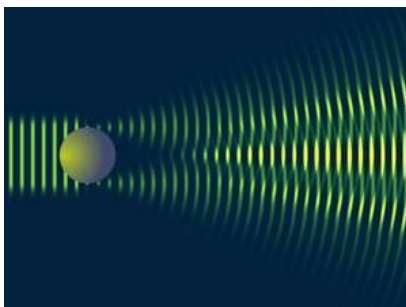
Figura 5: Representação da luz de um laser difratando em um fio de cabelo, com a formação de uma imagem de difração em um anteparo que está uma distância x do fio de cabelo. Na figura, y corresponde a distância entre os primeiros máximos.



Fonte: Própria autora

A figura 6 ilustra o fenômeno de difração da luz. Quando a onda plana atinge o cilindro de diâmetro d há a formação de duas novas fontes de ondas esféricas. Essas ondas surgem devido ao princípio de Huygens. Quando a diferença entre os caminhos dessa duas ondas for de um comprimento de onda, irá ocorrer a formação de um máximo de interferência. Essa diferença de caminho está ilustrada na figura 7.

Figura 6: Representação esquemática da difração da luz em um cilindro.

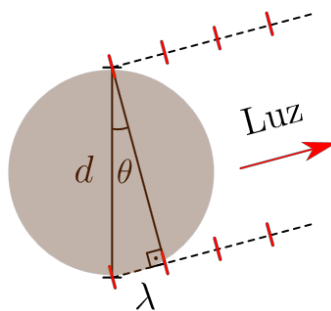


Fonte: Extraída da internet ³

Os traços em vermelho na figura 7 correspondem à frente da onda que está se deslocando para o primeiro máximo de interferência. Como a distância do anteparo até o fio de cabelo, x , é extremamente maior que a espessura do fio de cabelo, d , pode-se tratar esses raios como paralelos. Portanto, a diferença de caminho entre esses dois feixes deve ser (1).

$$\text{sen } \theta = \frac{\lambda}{d}. \quad (1)$$

Figura 7: Ampliação da figura 6 ressaltando a diferença de caminhos entre os feixes que formam o primeiro máximo.



Fonte: Própria autora

O ângulo θ presente nas figuras 5 e 7 são os mesmos, pois as retas que formam o ângulo θ na figura 5 são mutuamente perpendiculares as retas que formam o mesmo ângulo na figura 7. Neste sentido, pode-se usar a trigonometria $\text{sen } \theta = \frac{CO}{H}$, para obter

$$\text{sen } \theta = \left[\frac{\frac{y}{2}}{\sqrt{x^2 + \frac{y^2}{4}}} \right]. \quad (2)$$

³ Disponível em: <http://www.horiba.com/typo3temp/pics/7ed23b31e4.jpg> Acesso em 26 Set. 2016.

Substituindo a equação (2) na equação (1), obtêm-se

$$\left[\frac{\frac{y}{2}}{\sqrt{x^2 + \frac{y^2}{4}}} \right] = \frac{\lambda}{d}. \quad (3)$$

Na realização do experimento, quando a distância do anteparo até o fio de cabelo é da ordem de alguns metros, a distância entre os dois primeiros máximos é da ordem de centímetros. Portanto, x^2 é por volta de dez mil vezes maior que y^2 , ou seja, $x \sim 100y$. Essa diferença permite escrever $\sqrt{x^2 + \frac{y^2}{4}} \sim \sqrt{x^2} = x$.

Por exemplo, considerando $x = 3$ metros, $y = 2,5$ centímetros = 0,025 metros, temos que $\frac{y^2}{4} = \frac{(0,025)^2}{4} = \frac{0,0006}{4} = 0,0001$ e

$$x^2 = 3^2 = 9$$

$$\text{Logo, } \sqrt{x^2 + \frac{y^2}{4}} = \sqrt{9 + 0,0001} = \sqrt{9,0001} = \sim 3 = x.$$

Assim, usando essa aproximação é possível reescrever a equação (3) como

$$d = \frac{2\lambda x}{y}. \quad (4)$$

Desse modo, medindo a distância x , a distância entre os dois máximos e conhecendo o comprimento de onda do laser, é possível conhecer a espessura do fio de cabelo.

5 ESTRUTURA E DINÂMICA DA AULA

5.1 Situação-problema

O docente irá propor uma questão central motivadora, deixando um tempo hábil para que os alunos tentem responder. Espera-se que deem respostas de acordo com seus conhecimentos empíricos, mesmo que estejam incorretas, o objetivo é leva-los a uma reflexão, sobre alguma maneira de medir o diâmetro do fio do cabelo, de como poderiam fazer isso, se existem equipamentos que facilitem essa medida.

Slide 1:



No **Slide 1**, o professor inicia com a questão motivadora, que leve os alunos a pensarem, refletirem sobre a mesma, ouvindo e discutindo as diversas respostas que forem surgindo. Deixar a questão com as possíveis soluções em “aberto”.

5.2 Questões prévias a realização do experimento

- 1) Qual deve ser, em sua opinião, a espessura de um fio de cabelo? E como medir a espessura de um fio de cabelo?
- 2) O que é uma onda?
- 3) Indique possíveis aplicações para um laser?

Tais questões poderão ser apresentadas no segundo slide, como segue:

Slide 2:

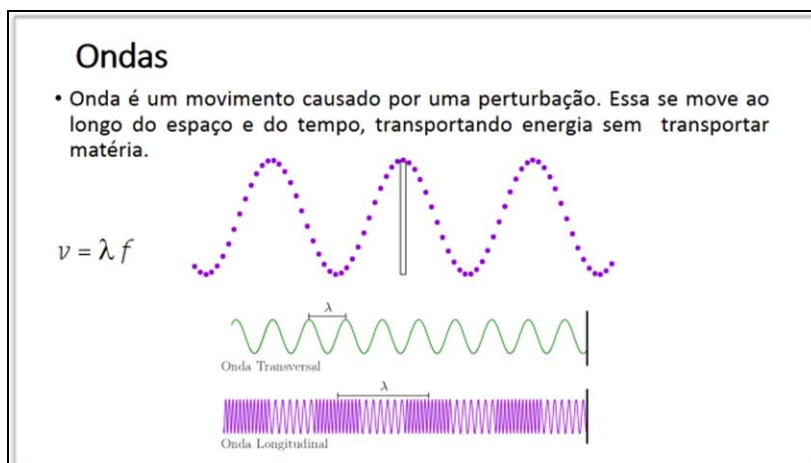
Questões prévias

- 1) Qual deve ser, em sua opinião, a espessura de um fio de cabelo? E como medir a espessura de um fio de cabelo?
- 2) O que é uma onda?
- 3) Indique possíveis aplicações para um laser?

Neste slide são propostas as questões prévias e deve ser dado um tempo para que os alunos respondam as mesmas, espera-se que eles respondam com seus conhecimentos cotidianos, da forma como imaginam. Em alguns casos podem ser esperadas respostas com exemplos que tenham visto em TV, em jornais, livros ou outros.

5.3 Conteúdos a serem abordados durante a aula

Slide 3:



No **Slide 3**, introduz-se explicando o conceito de onda, e dizer que a questão: “Como medir a espessura de um fio de cabelo?” poderá ser solucionada por meio de uma onda, ou seja, fazendo uso dos conceitos físicos, para medir a espessura de um fio de cabelo, neste caso, a onda luminosa, já que a luz se comporta como onda. Um exemplo de onda é a perturbação que ocorre quando se joga uma pedra em um lago, ou um pulso em uma corda, entre outros.

Nesse slide também devem ser expostas as principais características de uma onda, destacando o que é uma onda transversal e longitudinal. Para demonstrar uma onda transversal é proposta a animação (ver figura 8) representando-a, quando ocorre o movimento no sentido vertical (para cima e para baixo).

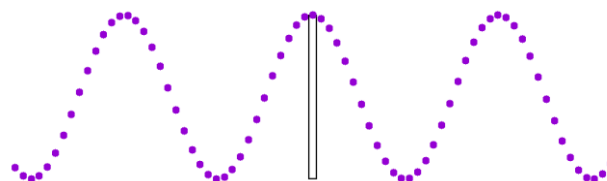
Vale ressaltar, que todos os pontos da onda se movem para cima e para baixo. A velocidade de propagação depende do comprimento de onda e da frequência da mesma. Como modelo, de ondas transversais podem ser citadas as ondas em uma corda e também as “ondas na arquibancada”, como um exemplo supostamente conhecido por todos os alunos como o “ôla” de uma plateia quando vão levantando os braços, pois, parece formar uma onda, lembrando que na “onda aparente” formada as pessoas não saem de seus lugares, fortalecendo que o que acontece é o transporte de energia e não de matéria.

Na onda longitudinal a vibração ocorre na mesma direção do movimento, ou seja, ela vibra e se propaga na mesma direção. Cita-se o caso das ondas sonoras e

também o de uma mola com um peso. O professor poderá levar para sala de aula uma *mola maluca* (brinquedo em forma de mola), para demonstrar/ simular o movimento de uma onda longitudinal.

A figura 8 é uma foto de uma animação que mostra uma onda transversal. Por meio da animação é possível notar que a onda não transporta matéria, pois as bolinhas possuem apenas movimento vertical.

Figura 8: Foto de uma animação para mostrar que a onda não transporta matéria.



Fonte: Própria autora

Essa animação foi gerada com o software GNUPLOT <<http://www.gnuplot.info/>>. Esse programa funciona na maioria dos sistemas operacionais. Os comandos para gerar a animação estão destacados abaixo:

onda.plt

```
1 set terminal gif size 1000, 300 animate delay 0.01 loop 0
2 set output "wave.gif"
3 set sample 75
4 unset key
5 unset border
6 unset tics
7 set object 1 rectangle from -0.12, -1 to 0.12, 1 lw 2
8 t=1
9 while (t < 157){
10 plot cos(x+0.04*t) w p pt 7 ps 2
11 t=t+1
12 }
13 unset output
```

Em escolas com laboratório de informática, é possível ministrar uma aula onde os alunos podem reproduzir a animação e na sequência, modificando o valor dos parâmetros para ver quais as alterações podem ocorrer na animação.

É interessante que as palavras em inglês presente nesses comandos, fossem trabalhadas na aula de inglês. Assim, promovendo uma atividade interdisciplinar.

Slide 4:

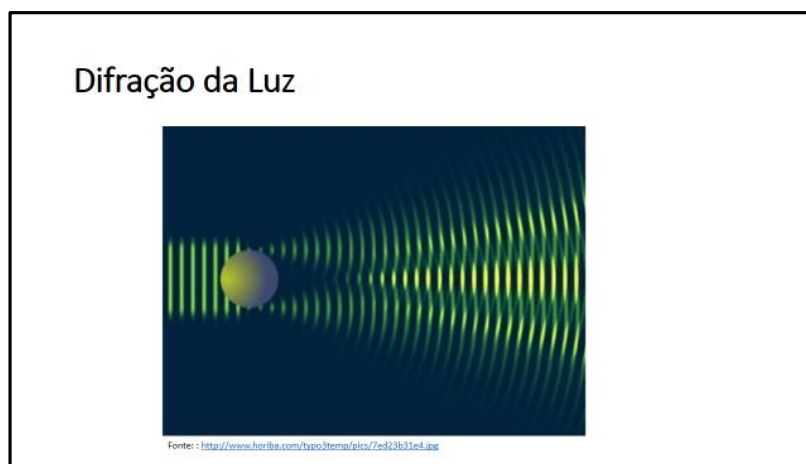


O **Slide 4**, representa a difração do som, com ele, o docente deve levantar alguns questionamentos como “já ouviu alguém conversando por trás de um muro?”, ou “Já conversou com alguém que está do outro lado do muro?”

Ouvir as possíveis respostas, e explicar que se trata de ondas sonoras, e que é possível ouvir as pessoas conversarem ou conversar com alguém que está do outro lado do muro devido ao fenômeno da difração.

Na imagem o que se observa é que as ondas sonoras são difratadas, ou seja, estão contornando o obstáculo, que neste caso é o muro. Devendo deixar claro que, isso só é possível por que, o comprimento de onda do som é proporcional ao tamanho do obstáculo. Assim, tem-se que o comprimento de onda do som é muito grande, quando comparado com o comprimento de onda de uma fonte luminosa. Portanto, a difração das ondas sonoras são mais perceptíveis do que a difração da luz.

Slide 5:

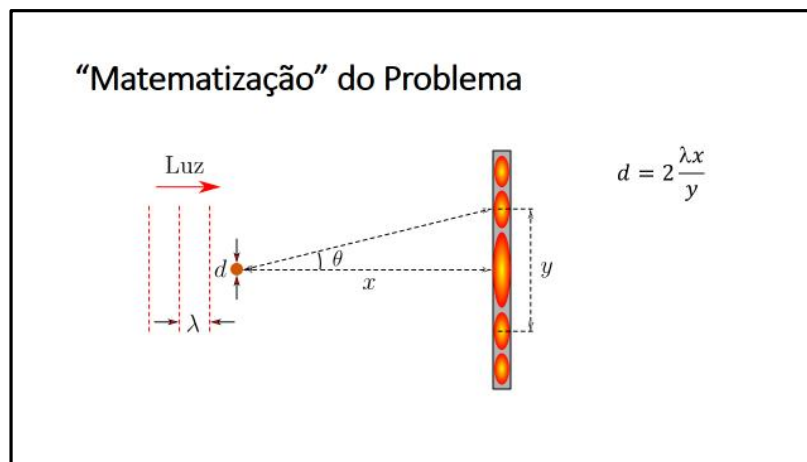


O **Slide 5**, traz uma figura representando a difração, por meio desta imagem o professor poderá definir como ocorre o fenômeno da difração da luz, explicando que difração é a propriedade do movimento ondulatório de contornar obstáculos ao ser interrompido parcialmente por eles. Com a figura do slide poderá explicitar o Princípio de Huygens no qual cada ponto de uma frente de onda em determinado instante é fonte de ondas secundárias que tem características iguais a da onda inicial, ou seja, cada ponto se comporta como uma nova frente de ondas.

Na imagem apresentada no slide 5 também deverá ser explicado a questão das franjas claras e escuras, que representam os máximos e os mínimos da figura de difração.

O professor explorará a imagem obtida pela demonstração do fio de cabelo como obstáculo no laser, mostrando aos alunos a figura de difração formada neste experimento. Lembrando que posteriormente os alunos farão este experimento e realizarão as medidas para descobrir o diâmetro de um fio de cabelo.

Slide 6:



Já no **Slide 6**, com a “matematização” do problema o docente abordará como serão feitos os cálculos matemáticos que permitirão saber qual o diâmetro do fio de cabelo, lembrando que o valor varia de fio para fio, visto que existem cabelos finos, grossos.

Poderá utilizar a equação simplificada $d = 2 \frac{\lambda x}{y}$

Nesta parte matemática o professor mostrará a equação que os alunos usarão para calcular a espessura (diâmetro) do fio de cabelo. Trabalhará ainda conceitos de razão e proporção. O professor solicitará que os alunos variem a distância x e observar o que acontece, e durante o experimento que troquem o fio de cabelo entre um mais fino e um mais grosso e observar as mudanças.

Slide 7:

Conversão de Unidades

Fator	Prefixo	Símbolo
10^9	giga	G
10^6	mega	M
10^3	quilo	k
10^2	hecto	h
10^1	deca	da
10^{-1}	deci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	mili	m
10^{-6}	micro	μ
10^{-9}	nano	η

No **Slide 7** deverá ser trabalhado como converter unidades, uma vez que o diâmetro do fio de cabelo tem como unidade o micrometro (μm), o comprimento de onda (λ) do laser é dado em nanômetros (nm), a distância x (do fio de cabelo + laser ao anteparo) é em metros (m) e a distância entre os máximos consecutivos y em centímetros (cm). Dessa maneira, destacar esses conceitos são essenciais

O professor deverá discutir essa tabela, explicando porque é necessário esses símbolos, por exemplo, k quer dizer mil (1.000), mega corresponde a 1 milhão (1.000.000), giga a um bilhão (1.000.000.000) podendo citar como exemplo que quando ele vai comprar um computador não vai pedir um computador com 1 bilhão de bytes de memória e sim com 1G de memória, ficando mais fácil de quantificar as grandezas, e se forem objetos com medidas menores, milímetros, centímetros e assim por diante.

Ressalta-se para os alunos que estes símbolos (letras), representam um fator da base 10, ou seja, são números, e quando aparecerem essas letras/ símbolos em algum exercícios, eles deverão substituir pelos valores correspondentes, por exemplo, quando tivermos o símbolo n, este deverá ser substituído por 10^{-9} de acordo com o que está na tabela. Dessa forma ocorre um trabalho interdisciplinar com a matemática.

Slide 8:

Exemplo

• Resolva $d = \frac{650 \text{ nm} \cdot 3\text{m}}{6\text{cm}}$. Expresse o resultado em μm

$$d = \frac{650\text{nm} \cdot 3\text{m}}{6 \text{ cm}}$$
$$d = \frac{650 \cdot 10^{-9} 3\text{m}}{6 \cdot 10^{-2}}$$
$$d = \frac{650 \cdot 10^{-9} \cdot 10^{+2} \cdot 3\text{m}}{6}$$
$$d = 325 \cdot 10^{-9} \cdot 10^{+2} \text{m}$$
$$d = 325 \cdot 10^{-7} \text{m}$$
$$d = 32,5 \cdot 10^{-6} \text{m}$$
$$d = 32,5 \mu\text{m}$$

No **Slide 8**, após evidenciar a conversão de unidades, o professor explicará e resolverá o exercício acima contando com a participação dos alunos. Ainda neste exemplo, procurará fortalecer os conceitos de razão e proporção. E no segundo

momento da aula propor aos alunos que realizem a prática experimental sobre o fenômeno da difração, bem como calculem o diâmetro do fio de cabelo.

Slide 9:

Exercício

Resolva $d = 2 \frac{650 \text{ nm} \cdot 4\text{m}}{8\text{cm}}$. Expresse o resultado em μm

Neste slide destaca-se um exercício para que os discentes resolvam, buscando com ele trabalhar um pouco mais a conversão de unidades. Todavia, faz-se importante deixar um tempo para que eles resolvam e havendo tempo hábil o professor ajudará a corrigirem no quadro ou solicitar que algum aluno venha até o quadro resolver, buscando a participação e colaboração dos demais alunos.

6 PRÁTICA EXPERIMENTAL PARA MEDIR O DIÂMETRO DO FIO DE CABELO

Objetivo

Utilizar o fenômeno da difração para medir o diâmetro de um fio de cabelo.

Justificativa

A realização deste experimento permitirá que o fenômeno da difração faça sentido para os alunos. Com esta aula os alunos poderão visualizar o fenômeno da difração da luz quando esta incide sobre obstáculos e ainda realizar micro medidas.

Duração das atividades: 100 minutos.

Conhecimentos prévios

- Comportamento da luz como onda.
- Conceito de difração da luz.
- Laser - luz monocromática coerente.

Recursos didáticos

- Aula expositiva utilizando recursos multimídia para exposição de textos e figuras.
- Aula prática.

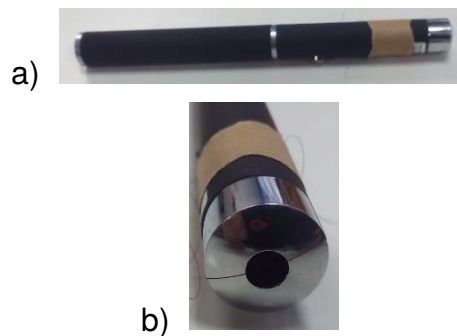
Materiais Necessários para o experimento:

- Laser
- Anteparo (Sulfite em branco)
- Trena e régua
- Fio de cabelo
- Fita adesiva
- Lápis

Procedimentos:

- Deixar a sala parcialmente escura;
- Fixar o fio de cabelo diretamente no laser utilizando fita adesiva, conforme figura 9:

Figura 9 – fio de cabelo fixado na ponteira laser



Fonte: Própria autora

Na Figura 9 em a) temos a visão lateral da ponteira laser já com o fio de cabelo fixado na mesma. Em b) a imagem frontal permite observar o fio de cabelo fixado na ponteira laser de onde sairá a luz. Este fio fará com que a luz sofra um desvio, dando origem a difração da luz.

- A fonte de laser deve estar a uma distância de 2 a 3 metros da parede / anteparo para facilitar a visualização do fenômeno da difração;
- Medir e anotar a medida do comprimento x (do laser ao anteparo);
- Obter o padrão de difração no anteparo;

Ao direcionar a ponteira laser para o anteparo deverá ser obtida uma figura de difração semelhante a imagem abaixo:



Fonte: Própria autora

- Medir y (ver figura 5);
A figura 5 representa a montagem do experimento, lembrando que y é a medida do máximo central;
- Calcular a espessura do fio de cabelo, d , a partir da equação:

$$d = 2 \frac{x\lambda}{y}$$

Onde:

- y - é a distância entre dois máximos da luz difratada;
 - x - distância do anteparo ao obstáculo;
 - d - espessura do fio de cabelo;
- λ - comprimento de onda do laser utilizado (ver figura 11).

O comprimento de onda do laser geralmente é informado pelo próprio fabricante no equipamento. No caso das ponteiros laser pode-se observar etiquetas semelhante à das imagens abaixo:

Figura 11 – Ponteiros laser



Fonte: Própria autora

Na figura 11 estão representadas as ponteiros laser. Em a) visão geral da ponteira laser. Em b) e c) a visão etiquetas das ponteiros laser verde e vermelha, com comprimento de onda de 532nm e 650 nm respectivamente.

6.1 Questões posteriores a realização do experimento

- 1) E agora, após ter feito o experimento, você saberia dizer qual a espessura (aproximada) do fio de cabelo?
- 2) Você consegue medir a espessura de um fio de cabelo utilizando uma onda sonora?
- 3) Usando as mesmas condições do experimento anterior e um fio de cabelo mais grosso, o novo tamanho do máximo de difração (y) deve ser maior ou menor? Justifique.
- 4) Aumentando a distância (laser + fio) do anteparo o que acontece com y ? Justifique.

Obs.: Para responderem as questões 3 e 4 podem usar a equação

$$d = 2 \frac{x\lambda}{Y} .$$

Slide 10:

Questões posteriores

- 4) E agora, após ter feito o experimento, você saberia dizer qual a espessura (aproximada) do fio de cabelo?
- 5) Você consegue medir a espessura de um fio de cabelo utilizando uma onda sonora?
- 6) Usando as mesmas condições do experimento anterior e um fio de cabelo mais grosso, o novo tamanho do máximo de difração (y) deve ser maior ou menor que o anterior? Justifique.
- 7) Aumentando a distância (laser + fio) do anteparo o que acontece com y ? Justifique.

No **Slide 10** são propostas as questões posteriores a realização da aula e do experimento, espera-se que com estas possa se identificar a aprendizagem dos alunos, bem como se o objetivo da aula foi atingido.

7 SÍNTESE FINAL

Esperamos que este material possa contribuir com os professores de Física do Ensino Médio, para o ensino da óptica física, em especial ao fenômeno de difração da luz. Que venha a enriquecer as aulas e colaborar para o ensino desta disciplina, de maneira contextualizada e interdisciplinar.

A aplicação do presente material poderá levar a uma aprendizagem mais significativa em relação aos conteúdos de física. Contribuindo para que os alunos estabeleçam relações dos conceitos físicos a situações vivenciadas ou presentes em seu cotidiano.

A teoria aliada a prática facilitará o ensino deste conteúdo, faz com que a aula mais torne-se mais dinâmica e participativa. Cabe ao docente o caráter mediador, questionador, levando os alunos a refletirem sobre o tema, bem como partir do conhecimento destes, para dar significado aos novos.

8 REFERÊNCIAS

ANDRADE, G.G.F; MENDES, B.B.C; BRITO, A.C.A; LIMA, J.R.T; RÊGO BARROS, K.C.T.F. **Experimentando a óptica: uma nova perspectiva para o ensino de física em turmas de ensino médio**. Congresso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación. Buenos Aires – Argentina, 2014.

BAGNATO, Vanderlei S. **Os fundamentos da luz laser**. Física na escola, v.2, n. 2, 2001.

CATELLI, Francisco; VICENZI, S. **Laboratório Caseiro: Transformando um Laser de Diodo para experimentos de Óptica Física**. Cad. Brás. Ens. Fís., v. 19, n.3: p.393-406, dez. 2002.

CAVALCANTE, Marisa Almeida; JARDIM, Vladimir; BARROS, José A. A. **Inserção de Física Moderna no Ensino Médio: Difração de um Feixe Laser**. Cad.Cat.Ens.Fís., v. 16, n. 2: p. 154-169, ago. 1999.

GRUPO DE REELABORAÇÃO DO ENSINO DE FÍSICA – GREF. **Física 2: Física Térmica / Óptica / GREF – 5. Ed. 3. Reimp.** – São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005.

HALLIDAY, David; HESNICK, Jearl Walker. **Fundamentos de Física: gravitação, ondas e termodinâmica**. Trad.: Ronaldo Sérgio de Biase. 2º Vol. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

HALLIDAY, David; HESNICK, Jearl Walker. **Fundamentos de Física: óptica e física moderna**. Trad.: Ronaldo Sérgio de Biase. 4º Vol. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

HALLIDAY ROBERT RESNICK, J. W. D. **Fundamentos de Física: Ótica e Física Moderna**. 4ª edição. ed. [S.I.]: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1995.

NARDI, Roberto; CASTIBLANCO, Olga. **Didática da Física**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2014.

NAPOLITANO, H. B.; THEODORO, J.E.; ELLENA, J. **Ênfase cognitivista no ensino da Lei de Bragg**. Disponível em:
http://www.cienciamao.usp.br/dados/epef/_enfasecognitivistanoensi.trabalho.pdf
http://www.cienciamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=epef&cod=_enfasecognitivistan
oensi acesso em 09 de agosto de 2016.

SÉRÉ, M.G et al. **O papel da experimentação no ensino de física**. Cad.Bras.Ens.Fís., v.20, n.1: 30-42, abr. 2003.

SERWAY, Raymond A; JEWETT JR, John W. **Princípios de Física - Vol.4 - Óptica e Física Moderna**. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

TIPLER, Paul Allan; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros, v.1:** mecânica, oscilações e ondas, termodinâmica. Tradução: Fernando Ribeiro da Silva, Gisele Maria Ribeiro Vieira. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

STARIOLO, D. A. **Física da Matéria Condensada.** Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/~stariolo/ensino/curso_2009.pdf, acesso em 15 de fevereiro de 2016.

ZILIO, S.C. **Óptica Moderna:** Fundamentos e Aplicações. Disponível em: <http://www.fotonica.ifsc.usp.br/ebook/book1/Optica-Moderna.pdf> acesso em 03 de junho de 2016.