

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA - POLO 47**

JOSÉ ALVINO SOUSA FERREIRA

**SEQUÊNCIA DIDÁTICA APLICADA AO ENSINO MÉDIO PARA ESTUDO DA
DIFRAÇÃO DA LUZ UTILIZANDO MATERIAIS ALTERNATIVOS**

**SÃO LUIS - MA
2020**

JOSÉ ALVINO SOUSA FERREIRA

**SEQUÊNCIA DIDÁTICA APLICADA AO ENSINO MÉDIO PARA ESTUDO DA
DIFRAÇÃO DA LUZ UTILIZANDO MATERIAIS ALTERNATIVOS**

Dissertação apresentada ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Eder Nascimento Silva

SÃO LUIS - MA
2020

Dedico àqueles que me apoiaram diretamente ou indiretamente: Dr. Eder Nascimento Silva, Dr. Edson Firmino Viana de Carvalho e Dra. Maria Consuelo.

AGRADECIMENTOS

A DEUS por permitir que eu desenvolvesse este trabalho.

A meu pai JULIO RAIMUNDO FERREIRA e minha mãe ISABEL SOUSA FERREIRA pelo incentivo.

A ANTONIA VIANA CANTUARIO que sempre me incentivou nos estudos.

A minha esposa ELIENE DE ARAUJO MACHADO por estar ao meu lado apoiando decisões.

A professora Dra. MARIA CONSUELO ALVES LIMA por me redirecionar na jornada que culminou com este trabalho.

Ao Coordenador do Mestrado Dr. EDSON FIRMINO VIANA DE CARVALHO que implantou esta etapa de ensino na Universidade Federal do Maranhão e empreende esforços no sentido de melhorias e manutenção do programa de pós-graduação em ensino de Física.

Ao meu orientador Professor Dr. EDER NASCIMENTO SILVA pela paciência, incentivo e colaboração em todos os momentos.

Ao Professor Dr. EDUARDO MORAES DINIZ que me oportunizou momentos de grande aprendizado em suas aulas e conversas.

Ao amigo Professor Dr. ANTONIO PINTO NETO que proporcionou grande aprendizado na elaboração de trabalhos.

Ao Professor Dr. JERIAS ALVES BATISTA que demonstrou enorme conhecimento na física e proporcionou grande aprendizado durante suas aulas.

A Dra. KARLA SOUSA por me auxiliar durante o desenvolvimento deste trabalho.

Às Diretoras KATIA LIMA E SONIA PEARCE pela concessão da construção deste trabalho.

A CAPES, código 001, pelo apoio financeiro por meio da bolsa concedida.

Ao grande amigo PEDRO FONTES que me deu muito apoio na elaboração deste trabalho.

A todos meus colegas do mestrado: AJAX, GLADSTON, MOISES, JOSE RAIMUNDO, BERREDO, JULIANA, DJAMILTON, ANTONIO CARLOS, GABRIEL e demais não citados, pelas discussões sobre o ensino, apresentações de seminário, ideias e conselhos.

"Você nunca achará o arco-íris se estiver olhando para baixo." Chaplin

RESUMO

Para alunos do ensino médio “Física é difícil”, e quando tratada sem contexto e clareza passa despercebido para o aluno a beleza da ciência. O presente trabalho visa Auxiliar professores do Ensino Médio de Física produzindo uma Sequência Didática utilizando materiais alternativos para estudo da Difração da Luz, que é pouco abordado pelos livros didáticos sendo que algumas vezes é citada dentro do ensino de Óptica da segunda série do Ensino Médio, outras vezes nas aulas de Ondulatória, ou ainda no Eletromagnetismo da terceira série, tudo de maneira pouco abrangente. Por outro lado, a escolha de uma Sequência Didática ocorreu devido a uma identificação com a abordagem prática de ensino durante as aulas do mestrado. Iniciando -se com o desenvolvimento de um Mapa Conceitual para estabelecer os conhecimentos prévios necessários para o desenvolvimento do tema, aula expositiva sobre Difração, desenvolvimento de experimentos, avaliação durante suas etapas de execução e pesquisa de satisfação para apreciação da metodologia utilizada durante a pesquisa. A proposta descrita aqui baseia-se nos princípios da Aprendizagem Significativa de David Ausubel e Aprendizagem Significativa Crítica de Marco Antonio Moreira com culminância em: montagem e aplicação de experimentos em difração da luz por um fio de cabelo; rede de difração com CD e DVD descartado; produção de cartazes e gravação de vídeo utilizando celular como suporte do ensino-aprendizagem em Difração. A aplicação da pesquisa e desenvolvimento dos experimentos foi realizada com alunos de duas turmas de terceira série em uma escola de Ensino Médio estadual, situada na capital do Estado do Maranhão. Para a coleta de dados analíticos, considerou-se a utilização de testes e anotações de registros sobre a aplicação do trabalho. Os resultados quantitativos obtidos, 239 acertos contra 231 erros nos garantiram êxito na aprendizagem significativa. A aceitação da Sequência Didática obteve bons resultados durante avaliação qualitativa uma vez que a sequência didática constituiu uma modalidade diferente na abordagem do conteúdo.

Palavras chaves: Sequência Didática – Difração – Experimentos

ABSTRACT

The present work aims to assist High School Physics teachers by producing a Didactic Sequence using alternative materials for the study of Diffraction of Light, which is rarely addressed by textbooks and is sometimes mentioned within the teaching of Optics in the second series of High School, other times in Wave classes, or in third grade Electromagnetism, all in a less comprehensive way. On the other hand, the choice of a Didactic Sequence occurred due to an identification with the practical teaching approach during the master's classes. Starting with the development of a Concept Map to establish the necessary prior knowledge for the development of the theme, expository class on Diffraction, development of experiments, evaluation during its execution stages and satisfaction survey for the appreciation of the methodology used during the research. The proposal described here is based on the principles of Meaningful Learning by David Ausubel and Marco Antonio Moreira with culmination in: assembly and application of experiments in diffraction of light by a hair; diffraction net with discarded CD and DVD; production of posters and video recording using cell phones as a support for teaching and learning in Diffraction. The application of research and development of the experiments was carried out with students from two third grade classes in a state high school, located in the capital of the State of Maranhão. For the collection of analytical data, the use of tests and annotations of records on the application of the work was considered. The quantitative results obtained, 239 hits against 231 mistakes, guaranteed us success in meaningful learning. The acceptance of the Didactic Sequence obtained good results during the qualitative evaluation since the didactic sequence constituted a different modality in the approach of the content.

Keywords: Didactic Sequence - Diffraction - Experiments

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Devido à difração das ondas, as ondas do oceano que entram através de uma abertura de em um quebra-mar podem se espalhar por toda a baía.	23
Figura 2 Formação de uma onda numa corda.	24
Figura 3 - Elementos de uma Onda.	25
Figura 4 - Raios de luz representados por retas orientadas.....	26
Figura 5 - Cada ponto da frente de onda comporta-se como uma nova fonte de onda.	27
Figura 6 – Frentes de onda projetada em uma fenda. À medida que a fenda diminui, fica mais evidente o efeito de difração.	28
Figura 7 Uma esfera de aço iluminada por um laser vermelho.	29
Figura 8 - Três exemplos de diferença de fase entre duas ondas coerentes.	30
Figura 9 O experimento de interferência de dupla fenda usando luz monocromática e fendas estreitas. Franjas produzidas pela interferência das ondas de Huygens das fendas S_1 e S_2 são observadas na tela.	31
Figura 10 Esquema geométrico de duas ondas, representadas pelos raios r_1 e r_2 , passando através das fendas estreitas e interferindo no ponto P.	32
Figura 11 Plotagem da intensidade relativa do padrão de interferência em função da diferença de fase das ondas que interferem no ponto do anteparo.	33
Figura 12 - Padrão de difração de fenda única. A luz monocromática que passa através de uma única fenda tem um máximo central, o mais brilhante, e máximos secundários (de intensidades menores) e mais escuros de cada lado.	34
Figura 13 (a) Os raios provenientes da extremidade superior de duas regiões de largura $a/2$ sofrem interferência destrutiva no ponto P_1 . (b) Para $D \gg a$, podemos supor que os raios r_1 e r_3 são aproximadamente paralelos e fazem um ângulo θ com o eixo central.	35
Figura 14 (a) Os raios provenientes da extremidade superior de quatro regiões de largura $a/4$ sofrem interferência destrutiva no ponto P_1 . (b) Para $D \gg a$, podemos supor que os raios r_1, r_2, r_3, r_4 e r_5 são aproximadamente paralelos e fazem um ângulo θ com o eixo central.	36
Figura 15 Padrão de difração de fenda única calculado.	37
Figura 16 Padrões de difração de fenda única para várias larguras de fenda. À medida que a largura da fenda D aumenta de $D = \lambda$ para 5λ e depois para 10λ , a largura do	

pico central diminui à medida que os ângulos dos primeiros mínimos diminuem conforme previsto para.....	38
Figura 17 Difração de uma fenda dupla. O gráfico mostra o resultado esperado para uma fenda de largura $D = 2\lambda$ e separação da fenda $d = 6\lambda$. O máximo de $m = \pm 3$ ordem para a interferência é ausente porque o mínimo da difração ocorre na mesma direção.	40
Figura 18 – Rede de Difração simplificada.....	40
Figura 19 – Múltiplas fendas simplificadas.	41
Figura 25 - Caixa de papelão preparada para o experimento de difração.	44
Figura 26 – Esquema de montagem do experimento.....	45
Figura 27 – Ponto de luz obtida com laser.	45
Figura 28 – Franjas obtidas com o fio de cabelo posicionado na frente do laser	46
Figura 29 - Aspectos de um CD	47
Figura 30 – Exemplo de cartaz.....	50
Figura 31- Experimento montado para verificar o efeito da difração no fio de cabelo: turma 304	53
Figura 32 - Montagem para verificação da difração em um fio de cabelo: turma 305	54
Figura 33 - Imagem obtida com a incidência do laser sobre o fio de cabelo.....	54
Figura 35 – Calculo da espessura do fio de cabelo - Turma 305	55
Figura 34– Montagem da Rede de Difração: Turma 304	55
Figura 36 - Montagem para a rede de difração T 305	56
Figura 37– Cartazes produzidos: Turma 304	56
Figura 38 - Cartaz produzido: Turma 305	57
Figura 39 - Cartazes produzidos: Turma 305.....	57
Figura 40– Experimento montado para a produção do vídeo explicativo	58

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Amostragem e Total de alunos	52
Gráfico 2 Comparação dos acertos das turmas 304 e 305	61
Gráfico 3 Relação de acertos da turma 304	62
Gráfico 4 Relação de acertos da turma 305	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Respostas da T 304 em relação a aceitação da Sequência Didática68

Quadro 2 - Respostas da T 305 em relação a aceitação da Sequência Didática72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Erros e acertos no teste diagnóstico.	60
Tabela 2 Relação das notas obtidas na Turma 304	63
Tabela 3 Relação das notas obtidas na Turma 305	63
Tabela 4 Erros e Acertos da turma 304.....	65
Tabela 5 Erros e Acertos da turma 305.....	67

LISTA DE SIGLAS

UFMA – Universidade Federal do Maranhão

LDB – Lei de Diretrizes e Bases

LDBEN – Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional

PCN – Parâmetros Curriculares Nacionais

SEDUC – Secretaria de Educação do Estado do Maranhão

MEC – Ministério da Educação e Cultura

ENEM – Exame Nacional do Ensino Médio

PIBID – Programa de Integração de Bolsas de Iniciação a Docência

MNPEF – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

SULEE – Supervisão de Estatísticas Educacionais

ITA – Instituto Tecnológico de Aeronáutica

FATEC – Faculdade de Tecnologia

CD – Compact Disc

DVD – Digital Vídeo Disc

BNCC – Base Nacional Curricular Comum

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Metodologia de ensino-aprendizagem desenvolvida nesta proposta	15
2	A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA E O ENSINO DE FÍSICA	17
2.1	Aprendizagem significativa de Ausubel	19
2.2	Aprendizagem significativa de crítica de Marco Antonio Moreira	20
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	23
3.1	Elementos de uma onda.....	24
3.2	Tratamento geométrico: óptica geométrica	26
3.3	Tratamento ondulatório: Huygens - Fresnel	27
3.4	Interferência de ondas.....	31
3.5	Difração em fenda única.....	34
3.6	Fenda dupla	38
3.7	Redes de difração	40
4	PRODUTO EDUCACIONAL	42
4.1	Sequência didática	42
4.2	Experimentos trabalhados em sala de aula.....	43
4.2.1	Confecção do experimento de difração sobre um fio de cabelo	44
4.2.2	Experimento sobre redes de difração	46
4.3	Produção de vídeo	48
4.4	Produção de cartazes.....	49
5	APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL E COLETA DE DADOS	51
5.1	O questionário	51
5.2	Construindo o mapa conceitual	52
5.3	Observações sobre a aula.....	52
5.4	Desenvolvimento das atividades	53
5.5	Análise dos resultados	58
5.5.1	Questionário de conhecimentos prévios da turma 304	58
5.5.2	Questionário de conhecimentos prévios da turma 305	58
5.6	Questionário sobre difração da luz.....	62
5.7	Questionário pós-atividades	64
5.7.1	Análise das respostas da turma 304	64
5.7.2	Análise das respostas da turma 305	65

5.8	Aceitação da sequência didática	67
5.8.1	Respostas obtidas na entrevista de aceitação da sequência didática	67
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
	Apêndice I - Questionário sobre concepções de ondulatória	81
	Apêndice II - Questionário sobre conhecimentos adquiridos	82
	Apêndice III - Questionário de aceitação da Sequência Didática	85
	Apêndice IV – Sequência didática	86
	Apêndice V – Resumo do material e custos	89
	Apêndice VI – Produto educacional	90

1 INTRODUÇÃO

Em 1998 ao iniciar minha carreira como docente de Física, tive muitas dificuldades no repasse dos conhecimentos e desde aquele momento até os dias atuais busco melhorar minhas aulas no que tange a transposição didática do conteúdo. Inicialmente usava uma linguagem formal tal qual estava escrito nas páginas dos livros, que às vezes estavam fora do contexto da realidade do aluno do ensino médio e longe de suas compreensões, levando-os talvez a observar a Física como uma disciplina pouco agradável. O resultado disso é uma desmotivação por parte dos alunos e preocupação para certos professores(as), pedagogos(as) e diretores(as) de escolas, sendo que a busca por um ensino de Física diferenciado que atraia os alunos tem sido a labuta de pesquisadores na área de ensino, cientistas laboratoriais e imposição de órgãos governamentais. Nesta perspectiva, esse trabalho objetiva a busca por melhorias no processo ensino-aprendizagem na escola pública através de uma prática pedagógica mais atual.

Recentemente, participei do Programa de Integração de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID), na qual me permitiu conhecer outras abordagens no repasse dos conhecimentos em Física e culminou logo em seguida com minha aprovação e matrícula no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) polo 47/UFMA, o que certamente me proporcionou novas aspirações e reforçou minha compreensão quanto ao meu papel de atuação no contexto educacional. O resultado de tal esforço culmina na elaboração de um Produto Educacional baseado em uma Sequência Didática (SD) sobre difração da luz, sendo esta mais uma ferramenta que pode auxiliar no processo de ensino aprendizagem do fenômeno.

Assim, como exemplificado anteriormente, exercer a função de docente de Física é um grande desafio. Alguns professores lecionam usando quase que absolutamente a modelagem matemática, desconhecendo a fenomenologia tratada, e/ou métodos pedagógicos que possam lhes auxiliar didaticamente na transposição do conteúdo, o que torna o ensino totalmente conteudista e fiel ao livro texto. As reclamações ocorrem por parte de alunos em relação a não compreensão dos conteúdos quanto à transmissão destes, e os docentes, (convém lembrar que não são

todos), culpam a base matemática do aluno pelo não entendimento do conhecimento repassado.

De 1986, ano da LDB, até os dias atuais, observa-se que a escola pública tem passado por uma transformação de paradigmas do tradicionalismo para o construtivismo, modelo atual, que considera os processos cognitivos dos alunos. Porém, esta transformação tem acontecido de forma vagarosa, pois a própria política educacional no país corrobora com atraso na implantação do modelo de ensino atualizado na escola pública, isto ocorre principalmente, quando as diretrizes tem descendência vertical e baixo investimento na formação de seus profissionais e por isso, dispõe-se de uma grande quantidade de professores na linha tradicionalista e outros na linha construtivista, caracterizando a escola pública brasileira como uma mistura desses dois métodos de aprendizagem.

Além das reformulações nas práticas de ensino de Física mencionado, houve também um tratamento diferenciado no conteúdo da grade curricular para o ensino médio impulsionado pelo uso cada vez maior da tecnologia em nosso cotidiano, que foi a inclusão de alguns tópicos de Física Moderna. Essa alteração foi cogitada há tempos, desde Terrazan (TERRAZAN, 1992) a Marisa Almeida (CAVALCANTE ; TAVOLARO 2001), reforçada pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional LDB nº 9394/96 (BRASIL 1996) e Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN).

No Estado do Maranhão, a adição de mais assuntos na grade curricular só começou a ser exigida partir do ano de 2015, quando a Secretaria de Educação do Estado do Maranhão (SEDUC) começou a levar em consideração a inserção da Física Moderna na grade curricular do ensino médio nas escolas públicas, como uma atualização seguindo as outras escolas da Federação, pois éramos um dos poucos Estados que praticavam um ensino defasado.

Com a promulgação da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDBEN), o Ministério da Educação e Cultura (MEC) efetivou o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) e reformulou a Base Nacional Curricular Comum (BNCC), promovendo assim mudanças significativas na educação nacional e sùtil melhora em relação a prática pedagógica significativa dos conteúdos. Apesar dessas mudanças, quando se trata da Física no ensino médio, não são raras as escolas públicas do Estado do Maranhão que não dispõem de laboratórios didáticos para aulas experimentais ou laboratórios de informática para executar simulações. Esse aspecto

negativo nos motivou a desenvolver um instrumento que auxilie o ensino de Física utilizando material alternativo para fins didáticos no estudo da óptica em escolas do ensino básico. Portanto, para que nossa prática pedagógica seja bem aceita, limitamos sua abordagem em analisar os conhecimentos prévios dos alunos; selecionar conceitos e experimentos; enumerar material; desenvolver e montar experimentos para demonstrar o fenômeno de interferência e difração; montar experimentos em sala de aula com alunos; inferir o nível de aceitação dos experimentos; justificar a aceitação dos experimentos

1.1 Metodologia de ensino-aprendizagem desenvolvida nesta proposta

Diante das dificuldades e busca constante pela popularização da física, faz-se necessário a pesquisa e inserção de novos métodos para tornar seu aprendizado prazeroso e desmitificar que Física seja um “bicho de oito cabeças para os alunos”. Como parte dessa busca pela popularização, propõe-se a construção de uma Sequência Didática com duração de 5 encontros, baseada na Aprendizagem Significativa de Ausubel e Aprendizagem Significativa Crítica de Moreira, em que parte-se da investigação da existência dos conhecimentos prévios dos alunos sobre o conteúdo de óptica através de um questionário, e reforça os subsunçores construindo os organizadores prévios com a construção de um mapa conceitual.

Segundo Moreira (2005, p. 6):

organizadores prévios são materiais introdutórios apresentados antes do material de aprendizagem em si mesmo, em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade, para servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que deveria saber para que esse material fosse potencialmente significativo ou, mais importante, para mostrar a relacionabilidade e a discriminabilidade entre o novo conhecimento e o conhecimento prévio..

Em seguida desenvolve-se o conteúdo sobre difração através de uma aula, e logo após, forma-se equipes de acordo com a identificação do aluno com a proposta de trabalho: fazer cartaz, produzir vídeo e montar experimentos, fornecendo-se a

estas equipes os roteiros de produção e apresentação dos trabalhos. Nesse cenário o professor assume o papel de moderador e não detentor de todo o conhecimento, como prega o ensino tradicionalista.

Para mensurar se houve aprendizagem a partir da nossa proposta pedagógica, aplicamos mecanismos que avaliam a aquisição de novos conhecimentos a partir daqueles já existentes. A avaliação quantitativa é apreciada na coleta dos dados obtidos com os questionários e a avaliação qualitativa é feita pela observação da participação do aluno na construção e apresentação dos trabalhos, somado a uma pesquisa de aceitação da proposta de ensino. Pois, é possível notar que as aprendizagens por **recepção** e **descoberta** citada na teoria de Ausubel e Moreira ocorrem durante a aula ministrada, proposta de trabalho e execução das atividades propostas. Então, a coleta de dados foi efetuada através da pesquisa de levantamento composta por entrevistas estruturadas e semi-estruturadas através de questionários abertos e fechados em uma pesquisa quali- quantitativa.

O contexto escolar de aplicação deste trabalho é uma escola de Ensino Médio da rede estadual de São Luís do turno matutino. A escola conta com primeiras, segundas e terceiras séries de ensino médio sendo que a taxa de matrículas não é fixa, sofrendo sempre variação na qual a escola ajusta-se a cada ano, sendo que em virtude disso o número de séries também não é fixo.

Para o ensino de Física no Turno matutino, a escola conta com 4 docentes: dois professores formados em Física pela Universidade Federal do Maranhão, um professor com formação em Matemática pela Universidade Estadual do Maranhão e um professor com formação em engenharia pela UFMA.

Em relação ao cenário socioeconômico em que a escola se encontra, podemos classificar o bairro como de classe intermediária e que a maior parte dos alunos não mora em sua vizinhança. A taxa de aprovação da escola está em torno dos 84%, a taxa de abandono 5,2% e a reprovação 10%, conforme o último censo de 2016. (SULEE Supervisão de Estatísticas Educacionais 2016).

2 A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA E O ENSINO DE FÍSICA

Diante das dificuldades a busca pela popularização da física é constante e se faz necessário a pesquisa e inserção de novos métodos para tornar o aprendizado de física prazeroso e desmitificar “Física é bicho de Oito Cabeças para os alunos”. Como parte dessa busca pela popularização, propõe-se a construção de uma Sequência Didática com duração de 5 encontros, baseada na Aprendizagem Significativa de Ausubel e Aprendizagem Significativa Crítica de Moreira. Parte-se da investigação da existência dos conhecimentos prévios através de um questionário, (pois julga-se que nem todos possuem os Subsunoçores necessários e recebido durante as aulas de Óptica da segunda série ou se estes existem com a necessidade de uma reaprendizagem), e reforça os Subsunoçores construindo os organizadores prévios com a construção de um mapa conceitual. Segundo Moreira (2005, p. 6):

organizadores prévios são materiais introdutórios apresentados antes do material de aprendizagem em si mesmo, em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade, para servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que deveria saber para que esse material fosse potencialmente significativo ou, mais importante, para mostrar a relacionabilidade e a discriminabilidade entre o novo conhecimento e o conhecimento prévio..

Em seguida desenvolve-se o conteúdo sobre difração através de uma aula, e logo após, forma-se equipes de acordo com a identificação do aluno com a proposta de trabalho: fazer cartaz, produzir vídeo e montar experimentos, fornecendo-se a estas equipes os roteiros de produção e apresentação dos trabalhos. Nesse momento o professor só orienta.

O questionário, que avalia se houve a aquisição dos novos conhecimentos a partir daqueles já existentes é aplicado depois das apresentações das produções. A avaliação quantitativa é apreciada na coleta dos dados obtidos com os questionários e a avaliação qualitativa é feita pela observação da participação do aluno na construção e apresentação dos trabalhos, somado a uma pesquisa de aceitação da proposta de ensino. É possível notar que as aprendizagens por Recepção e

Descoberta citada na teoria de Ausubel e Moreira ocorrem durante a aula ministrada, proposta de trabalho e execução das atividades propostas.

A coleta de dados é efetuada através da pesquisa de levantamento composta por entrevistas estruturadas e semi-estruturadas através de questionários abertos e fechados em uma pesquisa quali- quantitativa.

O contexto escolar de aplicação deste trabalho é em uma Escola de Ensino médio da rede estadual de São Luís no turno matutino. A escola conta com primeiras, segundas e terceiras séries de ensino médio sendo que a taxa de matrículas não é fixa, sofrendo sempre uma variação na qual a escola ajusta-se a cada ano, sendo que em virtude disso o número de séries também, não é fixo.

Para o ensino de Física no Turno matutino, a escola conta com 4 docentes: dois professores formados em Física pela Universidade Federal do Maranhão, um professor com formação em Matemática pela Universidade Estadual do Maranhão e um professor com formação em engenharia pela UFMA.

A escola bem localizada em um bairro de classe razoável tem em sua clientela poucos jovens oriundos de suas proximidades. A grande maioria é de jovens provenientes de bairros distantes como São Raimundo, Cidade Operária, Vila Izabel Cafeteira e etc. Conta-se também com alunos até de bairros bem mais afastados como Farol do Araçagi, Pirâmide, Juçatuba e São Jose de Ribamar. A taxa de aprovação da escola está em torno dos 84%, a taxa de abandono 5,2% e a reprovação 10% conforme o último censo de 2016. Estas informações podem ser confirmadas em (SULEE Supervisão de Estatísticas Educacionais 2016) Não há disposição de dados mais recentes ainda.

O conhecimento inicial do mundo ocorre pela percepção dos fenômenos e de seus eventos associados. É a partir dessa percepção que o homem se tornou capaz de gerar algum conhecimento e explicar sobre o mundo que lhe cerca. No entanto, o aprofundamento desse conhecimento exigiu do ser humano o desenvolvimento das inúmeras ciências, sejam elas da natureza, sociais, exatas ou quaisquer outras, de modo que a análise e a síntese, como processos complementares, tornaram-se indispensáveis para o conhecimento da ciência no mundo atual.

2.1 Aprendizagem significativa de Ausubel

De acordo com David Ausubel, filho de imigrantes judeus, para que o aluno entenda um novo conceito e amplie a dimensão deste é necessário que o novo conhecimento tenha bases favoráveis à sua construção, tal qual a edificação de uma casa que necessita das fundações sólidas. Temos uma Aprendizagem Significativa quando apresentamos um novo conhecimento que tem relação com o que vai ser aprendido. Agora se esta base não está suficiente preparada, não possui os alicerces necessários (Subsunçores pré definidos) é preciso o aperfeiçoamento destes o qual se faz com o uso de Organizadores Prévios que dão suporte necessários aos Subsunçores, fortalecendo-os para que o novo conhecimento tenha uma melhor ancoragem.

Para que ocorra a inserção do aluno na aprendizagem significativa é preciso o uso e aplicação de métodos pedagógicos que o incentivem e despertem o seu interesse (FIALHO; ROSENAU, 2008). Para haver aprendizagem é necessário que o novo conhecimento nesse sentido, segundo Ausubel a aprendizagem significativa envolve:

A aprendizagem por recepção significativa envolve, principalmente, a aquisição de novos significados a partir de material de aprendizagem apresentado. Exige quer um mecanismo de aprendizagem significativa, quer a apresentação de material *potencialmente* significativo para o aprendiz. Por sua vez, a última condição pressupõe (1) que o próprio material de aprendizagem possa estar relacionado de forma *não arbitrária* (plausível, sensível e não aleatória) e *não literal* com *qualquer* estrutura cognitiva apropriada e relevante (i.e., que possui significado 'lógico') e (2) que a estrutura cognitiva *particular* do aprendiz contenha ideias *ancoradas* relevantes, com as quais se possa relacionar o novo material. A interação entre novos significados potenciais e ideias relevantes na estrutura cognitiva do aprendiz dá origem a significados verdadeiros ou psicológicos. Devido à estrutura cognitiva de cada aprendiz ser única, todos os novos significados adquiridos são, também eles, obrigatoriamente únicos (AUSUBEL, 2000, p. 17).

Muito se discute sobre a importância do ensino de Física em todos os níveis de escolaridade. Sabe-se que o acesso ao conhecimento científico se dá de diversas formas, e em diferentes ambientes, mas é na escola que a formação de conceitos

científicos são aprofundados e explicados para os discentes, lugar apropriado onde a autonomia e autoria podem acontecer, e tudo depende do método a ser empregado no contexto escolar.

Segundo o que afirma Demo:

Meu objetivo é questionar a maneira como, em geral, se estuda entre nós, sem pesquisa, sem elaboração, sem leitura sistemática, sem desconstrução e reconstrução. Na escola e na universidade, estudar é o que menos se faz, gastando-se o tempo inteiro com aulas e provas. Não que estas não caibam, mas são eventos supletivos, em geral apenas reprodutivos. Entendo por estudar a dedicação sistemática e motivada à desconstrução e reconstrução do conhecimento, na condição de sujeito capaz de interpretar com autonomia. O estudo bem feito sempre resulta em autoria, o que retira do interesse procedimentos de cópia, transmissão, aquisição. Estudar bem não combina com receber conteúdos simplificados, abreviados, resumidos, via aula, de tal sorte que a tarefa que ainda resta para o aluno seria copiar e reproduzir. Nem escola nem universidade descobriram propriamente o que é estudar. (DEMO, 2009, p.14).

2.2 Aprendizagem significativa de crítica de Marco Antonio Moreira

O ensino não é meramente repasse de conhecimentos e o aluno não é subalterno nesse processo que visa o aprender a aprender¹, a desconstrução e reconstrução, pois o que se deve priorizar é a autonomia do aluno na busca do conhecimento e do aprender para que o educando passe a ser autor e construtor do seu saber.

Também, não se pode esquecer que o conhecimento prévio, a interação social e o questionamento, oportunizam ao ser humano a compreensão da realidade e a superação de problemas que lhes são impostos diariamente na aquisição de conhecimento (MOREIRA, 2010). Deve-se, então, partir de uma compreensão de mundo que o aluno carrega consigo, advindo de seu cotidiano, deixar claro que no

¹O termo aprender a aprender está relacionado ao construtivismo que teve como um de seus iniciantes Jean Piaget. A ideia construtivista é a de que o aprendizado se dá quando o indivíduo interage com o conteúdo. Um dos princípios do aprender a aprender é o desenvolvimento da autonomia do aprendiz, onde este aprende a construir o conhecimento por si mesmo. Segundo esse princípio, o aprendizado, assim, ocorre de forma mais significativa do que aquele ensinado pela transmissão do conteúdo.

ambiente escolar suas dúvidas podem ser respondidas, de forma a contextualizar a Física com seus conhecimentos prévios. Conforme afirma Einstein e Infeld:

Os conceitos científicos frequentemente começam com os da linguagem usual para os assuntos da vida cotidiana, mas se desenvolvem de maneira bem diferente. São transformados e perdem a ambiguidade a eles associada da linguagem usual, ganhando em rigor para que possam ser aplicados ao pensamento científico. (EINSTEIN; INFELD, 1980, p. 21)

Moreira (2006) corrobora com esse pensamento, afirmando que o aluno não parte do zero. Assim como toda aquisição de conhecimento, pauta-se em conhecimento pré-estabelecido de autores na literatura, ou seja, a própria pesquisa científica não parte do zero e sim de ideias iniciais de outros autores que servem de suporte para novas pesquisas. Porém, apesar de não ter sido desenvolvido no aluno o hábito da pesquisa, o mesmo carrega consigo conhecimento empírico, ainda que seja passado por seus pais e parentes no convívio familiar. Essa perspectiva é o que defende a teoria da aprendizagem significativa como sendo uma forma de conhecimento prévio do aluno, conforme afirma Silva e Shirlo (2014):

Os organizadores prévios podem se apresentar sob a forma de textos, filmes, esquemas, desenhos, fotos, perguntas, mapas conceituais², entre outros, que são apresentados ao estudante, em primeiro lugar, em nível de maior abrangência, permitindo a integração dos novos conceitos aprendidos, tornando mais fácil o relacionamento da nova informação com a estrutura cognitiva já existente (SILVA; SHIRLO, 2014, p. 38).

A educação básica deve preparar os alunos para o exercício da cidadania proporcionando competências e habilidades através de uma aprendizagem significativa, para que o aluno desenvolva atitudes de valor na sociedade. Embora pareça satisfatório esse contexto ideal para o ensino-aprendizagem, na realidade de muitas escolas ainda prevalece o tradicionalismo, onde há o repasse de informações oriundas do livro didático e que conta com aula expositiva, exercícios e provas, sem uma contextualização, relacionamento deste conteúdo com a realidade do aluno,

² Os mapas conceituais são instrumentos que podem proporcionar mudanças no modo de ensinar, de avaliar e de aprender. Eles visam promover a aprendizagem significativa e entram em choque com técnicas voltadas para aprendizagem mecânica, assim, utilizá-los em toda sua potencialidade, implica em atribuir novos significados aos conceitos de ensino, aprendizagem e avaliação (MOREIRA; BUCHWEITZ, 1987).

resultando em informações retidas somente para a execução de uma prova e que são descartadas e esquecidas logo após o uso sem ter significância.

É notório docente da disciplina física, arraigado em problemas dos antigos livros didáticos de Física para o segundo grau, atual ensino médio, não extraírem nem as siglas como (ITA), (FATEC) e outras, do início das questões ao “elaborarem” seus simulados do ENEM ou outras avaliações. Exemplifica-se aqui um desses tipos de questão extraída do site EBAH.

(Unitau-SP) Um móvel parte do km50, indo até o km 60, onde, mudando o sentido do movimento, vai até o km 32. O deslocamento escalar e a distância efetivamente percorrida são, respectivamente:

- a) 28km e 28km
- b) 18km e 38km
- c) 18km e 38km
- d) 18km e 18km
- e) 38km e 18km (MACHADO, 2016)

Conforme Costa (2015) a escola atuante sob aspectos tradicionais, ou seja, descontextualizada da realidade causa deficiências de aprendizado.

... A despeito de todo avanço das pesquisas em educação, da ciência e da tecnologia, nossas aulas mais se assemelham a modelos do início do século, tendo como perspectiva metodológica dominante a exposição, a exercitação e a comprovação.

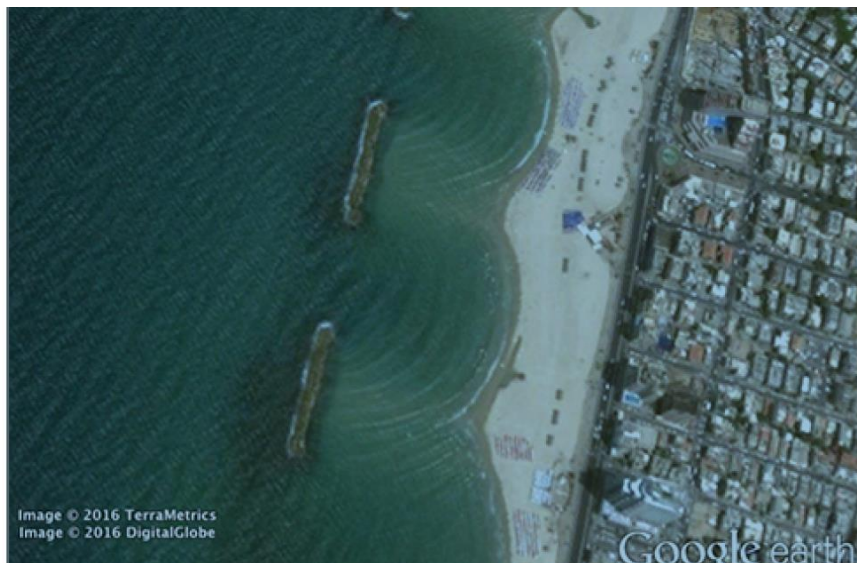
A escola, organizada sob tal enfoque, carece de significados aos alunos, gera abandono, desmotivação e mesmo rebeldia que se manifesta, entre outras coisas, na agressividade dos alunos e em sua indisciplina. (COSTA, 2015)

Do exposto pode-se concluir que a deficiência de aprendizagem se reflete no trabalho do professor de Física, também, pois o mesmo é parte integrante da escola e cabe a este reciclar-se para inserir-se no sistema atual. A finalidade deste trabalho é proporcionar mais uma ferramenta no auxílio da Aprendizagem Significativa que deve desenvolver-se num processo de negociação de significados ou seja os alunos precisam valorizar os conceitos físicos para análise, compreensão e tomada de decisões sobre futuros problemas emergentes e para isso deve se levar em conta os seus conhecimentos prévios para dar início à construção dos novos conhecimentos e o possível uso destes no seu cotidiano.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A interferência e difração de ondas se configura na vida cotidiana como efeitos que são percebidos e ignorados pela maioria das pessoas, ou seja, os efeitos são vistos sem o conhecimento de sua fundamentação: o porquê e como ocorre. Por exemplo, todos veem o arco íris, mas não imaginam como se origina e atribuem sua existência a algo divino. Outro fenômeno corrente é quando seu vizinho liga o som em uma alta intensidade de forma que chegue a seus ouvidos, mesmo havendo paredes separando os cômodos. Outros até já brincaram atirando pedras na superfície de um rio ou mar, como mostrado através da Figura 1, e observaram a formação de círculos concêntricos que ao colidirem com um objeto surge novas formações de círculos concêntricos, mesmo sem saber quais os efeitos estão por trás de tais formações.

Figura 1 Devido à difração das ondas, as ondas do oceano que entram através de uma abertura de um quebra-mar podem se espalhar por toda a baía.



Fonte: modificação dos dados do mapa do Google Earth

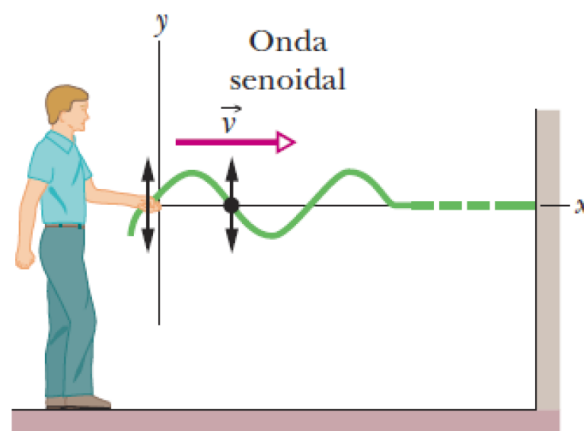
Os fenômenos ainda se explicitam quando se olha um tecido de trama fina contra uma lâmpada distante. Quando visualizamos a Lua através de uma nuvem (as gotículas de água na nuvem). Olhando o reflexo num CD vemos faixas ou halos coloridos, devido à difração da luz por pequenos obstáculos (os sulcos do CD).

A onda é uma perturbação que se move em um meio transportando energia e quantidade de movimento sem transportar matéria. Ela sofre vários efeitos, dentre eles os efeitos de interferência e difração, que são fenômenos característicos de “todas as ondas” quando elas contornam obstáculos ou atravessam fendas.

3.1 Elementos de uma onda

Considere inicialmente uma corda esticada por suas extremidades, a esse estado chamaremos de posição de equilíbrio da corda. A seguir realizamos oscilações em uma das extremidades da corda e após um tempo observamos a formação de ondas na corda, como mostrado na Figura 2. A esse padrão de ondas chamaremos de onda senoidal, devido ao seu comportamento se modular muito bem com a função trigonométrica seno.

Figura 2 Formação de uma onda numa corda.



Fonte 1 Halliday

Matematicamente as ondas ditas clássicas que oscilam no tempo (t) e se propagam ao longo de uma direção (no presente caso x) com uma velocidade v , obedecem ao que chamamos de equação diferencial de onda dada pela equação abaixo;

$$\frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial t^2} \quad (1)$$

Cuja solução particular para essa equação pode ser dada por;

$$y(x, t) = y_m \sin(kx - \omega t) \quad (2)$$

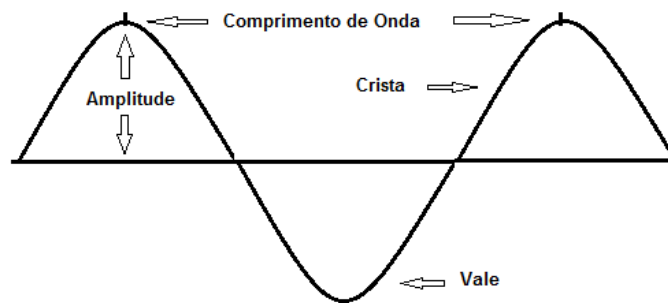
Onde;

✓ A amplitude y_m de uma onda é o módulo do deslocamento máximo sofrido pelos elementos do meio que a onda se propaga a partir da posição de equilíbrio.

✓ A fase de uma onda é o argumento $(kx - \omega t)$ da função seno. Quando a onda passa por uma posição x , a fase varia linearmente com o tempo t .

✓ O comprimento de onda λ de uma onda é a distância (paralela à direção de propagação) entre repetições da forma da onda, como mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Elementos de uma Onda.



✓ O número de onda k , está relacionado com λ , através de;

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (3)$$

✓ O período de oscilação (T) é o tempo que um elemento do meio leva para executar uma oscilação completa e está relacionado à frequência angular ω através da equação;

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (4)$$

✓ A frequência f de uma onda é definida como T^{-1} e está relacionada à ω através da equação;

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (5)$$

✓ A velocidade v da onda pode ser calculada por;

$$v = \lambda f = \frac{\lambda}{T} = \frac{\omega}{k} \quad (6)$$

Esse conjunto de valores caracterizam bem a onda em questão, cada onda possui seu comprimento de onda e frequência características. Quando comparadas duas ondas elas podem possuir esses valores iguais, mas podem possuir uma chamada diferença de fase angular (ϕ) entre si, ou seja, a onde se modelaria como segue;

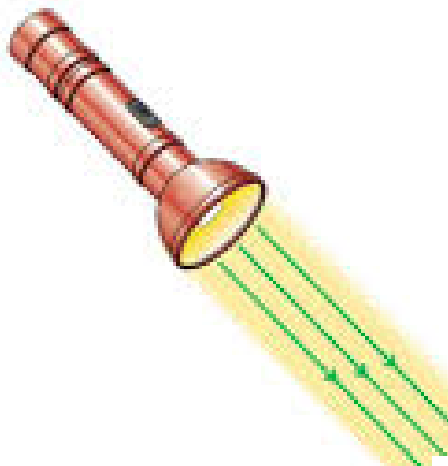
$$y(x, t) = y_m \sin(kx - \omega t + \phi) \quad (7)$$

A luz é um tipo de onda e quem primeiro fez observações experimentais e inclusive nomeou o efeito como difração foi o padre jesuíta italiano Francesco Maria Grimaldi (1618-1663) com o trabalho intitulado *Diffraction* sendo que a luz é tratada nos seguintes modos: óptica geométrica e óptica ondulatória.

3.2 Tratamento geométrico: óptica geométrica

O primeiro trata o raio de luz como um segmento de reta orientado (Ver Figura 4), denominando esse ramo como óptica geométrica. Nesse contexto muitos fenômenos envolvendo a luz podem ser explicados baseando-se somente em previsões. Os principais físicos que estudaram os efeitos de reflexão, refração da luz e formação de imagens em espelhos nessa metodologia foram Newton, Fermat, Snell e Descartes.

Figura 4 - Raios de luz representados por retas orientadas.



Fonte: http://www.aulas-fisica-quimica.com/8f_15.html

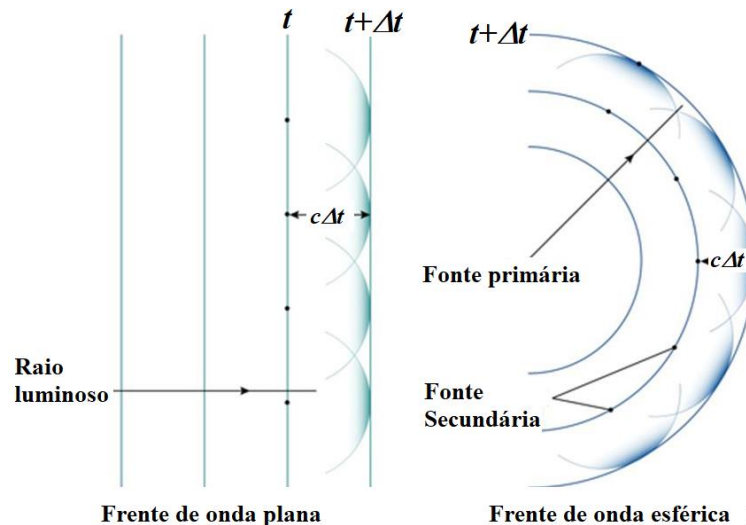
3.3 Tratamento ondulatório: Huygens - Fresnel

Em 1678, Huygens formulou um princípio de grande importância para a compreensão da propagação de ondas publicado em 1690 em seu “tratado sobre a luz”. Embora aplicado apenas à propagação de ondas sonoras (onde o comprimento da onda é próximo das dimensões dos objetos) o princípio de Huygens afirma:

Cada ponto em uma frente de onda funciona como uma nova fonte, produzindo ondas que se propagam com a mesma frequência, velocidade e na mesma direção das ondas originais. (IFPR Oficina do Ensino de Física s.d.)

A Figura 5 ilustra bem o princípio de Huygens considerando frentes de ondas primárias e secundárias planas (da esquerda) e circulares (da direita). As ondas estão se propagando com uma velocidade c .

Figura 5 - Cada ponto da frente de onda comporta-se como uma nova fonte de onda.



Fonte: adaptado de <https://slideplayer.com.br/slide/359069/>

Ele não considera o comprimento de onda no efeito da difração e prevê o mesmo comportamento para todas as ondas indo de encontro ao mesmo obstáculo.

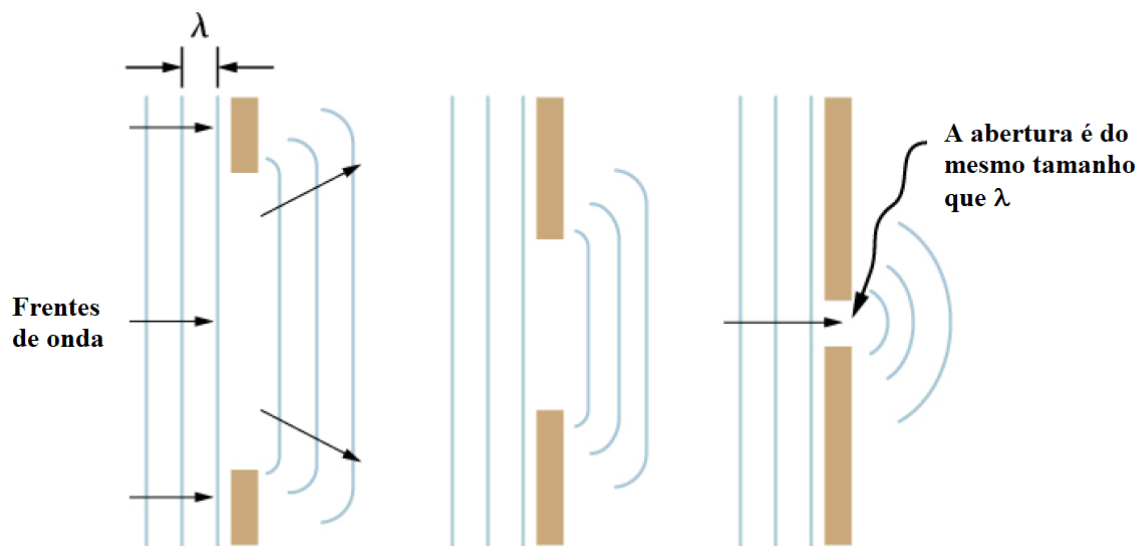
O princípio da ótica geométrica não consegue explicar como ondas sonoras sofrem difração, isto é, se curvam em torno de obstáculos grandes como árvores ou

postes, enquanto as ondas de luz visível, não sofrem difração nos mesmos obstáculos.

A observação de fenômenos e o uso de experimentos através dos tempos nos informam que a difração ocorre de acordo com o comprimento de onda, ou seja, para a luz atravessando uma fenda, o fenômeno da difração só vai ocorrer quando a fenda for pequena, ou melhor, o tamanho da fenda vai ficando pequeno até tornar-se próximo do comprimento de onda da luz. Note a Figura 6 para um auxílio na compreensão.

O comprimento de onda da luz visível está compreendido entre 700 nm, luz vermelha e 400 nm para luz violeta, o que equivale em milímetros a $7 \cdot 10^{-4}$ mm a $4 \cdot 10^{-4}$ mm. Medidas realizadas comprovam que a espessura de um fio de cabelo humano é da ordem de 7×10^{-5} m sendo ideal para verificar a difração da luz e até possível medir a espessura do fio de cabelo.

Figura 6 – Frentes de onda projetada em uma fenda. À medida que a fenda diminui, fica mais evidente o efeito de difração.

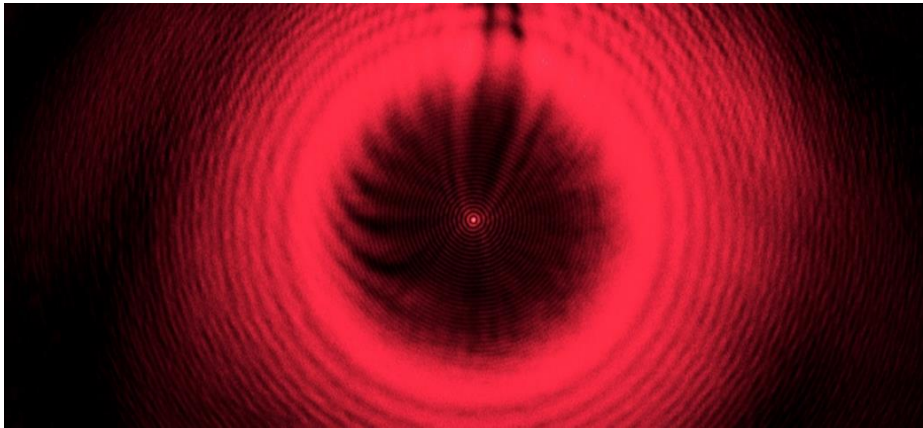


Fonte: Adaptado de LING, SANNY, MOEBS (2016, p. 32)

A teoria newtoniana, dos raios luminosos dominava os debates científicos franceses no início do século XIX enquanto Augustin-Jean Fresnel muito jovem e engenheiro militar acreditava que poderia explicar o fenômeno de difração usando a teoria ondulatória. Ele escreveu um trabalho à Academia Francesa de Ciências no

qual descrevia seus experimentos com a luz e os explicava usando a teoria ondulatória. Fresnel venceu um concurso com o intuito de premiar o melhor trabalho sobre difração. Ele usou uma chapa com furo circular com dimensões da ordem do comprimento de onda da luz usada. Inconformado Siméon Denis Poisson propôs que a experiência fosse feita com uma esfera ao invés de um simples furo circular. Ele propôs que se a teoria de Fresnel estivesse correta as ondas luminosas convergiria para a sombra da esfera produzindo um ponto luminoso no centro da sombra. A comissão julgadora realizou o experimento e estava lá o *ponto claro de Fresnel*. As franjas de difração desta última experiência são mostradas na Figura 7.

Figura 7 Uma esfera de aço iluminada por um laser vermelho.



Fonte 2 Adaptado de LING, SANNY, MOEBS (2016, p. 145)

O cálculo quantitativo dos efeitos de difração foi possível após a reformulação do princípio de Huygens por Fresnel. Ele acrescentou os efeitos de interferência ao princípio original. As componentes da onda em direções fora da direção de propagação sofrem interferência destrutiva, gerando outra frente de onda que segue o padrão anterior. Esses novos termos foram adicionados ao princípio de Huygens, que ficou conhecido como o princípio de Huygens-Fresnel:

“... qualquer ponto de uma frente de onda que não seja obstruído, em qualquer instante se comporta como uma fonte de ondas esféricas secundárias, da mesma frequência da onda primária. A amplitude do campo óptico em qualquer ponto após a passagem pelo obstáculo é a superposição das amplitudes das ondas esféricas secundárias, levando em conta suas fases relativas.” (USP s.d.)

O motivo pelo qual a luz atinge regiões para além da fenda, regiões inatingíveis para a luz, caso esta não sofresse difração é que o grande número de ondas

secundárias esféricas “emitidas pela abertura” interferem constantemente no anteparo.

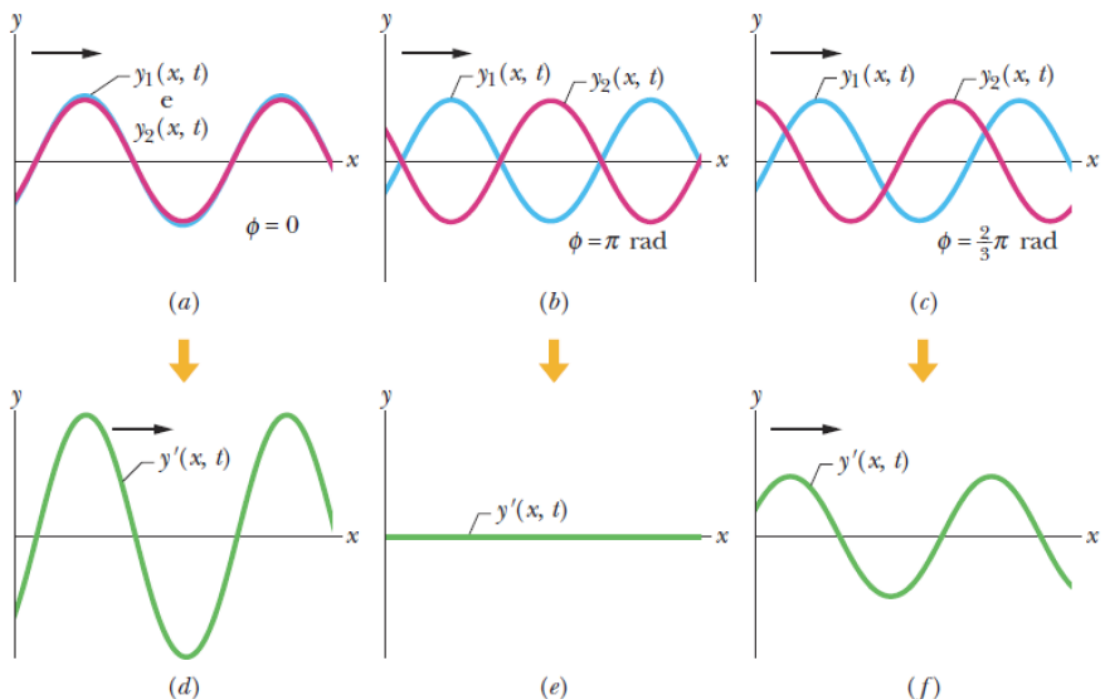
A interferência é um fenômeno que se dá quando duas ou mais ondas se superpõem em fase ou defasadas. Faremos uma análise qualitativa das situações mostradas na Figura 8 onde as diferenças de fase são $\phi = 0, \pi$ e $2\pi/3$ rad, com ondas que possuem mesmo número de onda (k) e mesma amplitude (y_m).

Na Figura 8(a) ambas as ondas estão em fase assim a superposição dessas ondas resultam em uma onda com amplitude aumentada de $2y_m$, como ilustrado na Figura 8(d). Esse tipo de interferência é chamada de interferência construtiva.

Na Figura 8(b) ambas as ondas estão completamente fora de fase assim a superposição dessas ondas resultam em uma onda com amplitude nula, como ilustrado na Figura 8(e). Esse tipo de interferência é chamada de interferência destrutiva.

Na Figura 8(c) as ondas estão com uma diferença de fase que difere dos dois casos anteriores assim a superposição dessas ondas resultam em uma onda com amplitude intermediária entre 0 e $2y_m$, como ilustrado na Figura 8(f). Esse tipo de interferência é chamada de interferência intermediária.

Figura 8 - Três exemplos de diferença de fase entre duas ondas coerentes.

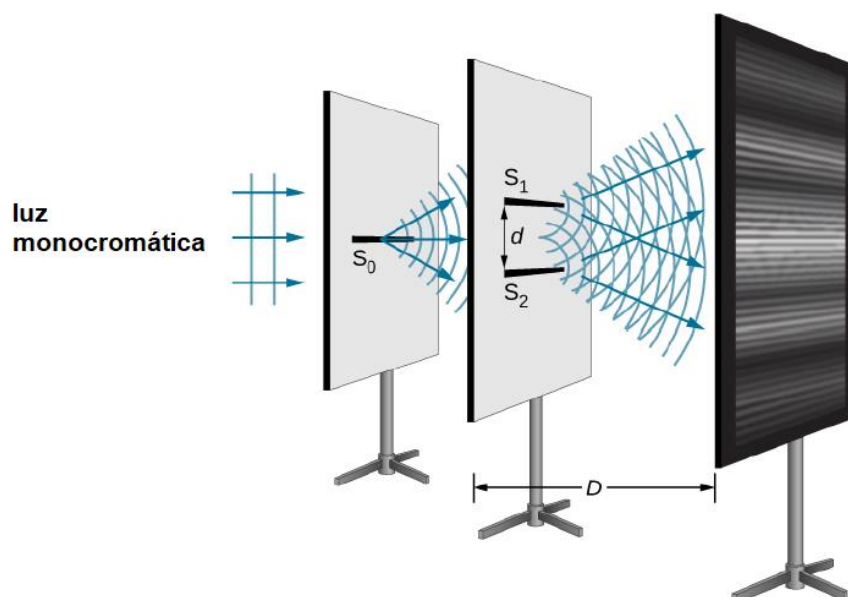


Tais fenômenos são perceptíveis se tivermos fontes coerentes que produzam ondas sem variação no decorrer do tempo em relação às outras, e possuírem uma relação de fase constante. Fontes incoerentes produzem ondas que variam com o tempo em relação às outras e o padrão de interferência pode até não ser notado pelo observador, caso a relação de fase varia continuamente.

3.4 Interferência de ondas

O experimento de interferência com a luz, feito pela primeira vez por Thomas Young, em 1801. Foi determinante para estabelecer-se a natureza ondulatória da luz, pois sabia-se que somente ondas poderiam sofrer interferência. Nesse experimento, uma onda plana originada de uma fonte monocromática distante incide sobre a fenda S_0 da primeira placa opaca, difrata-se através da fenda e é usada para iluminar as fendas estreitas S_1 e S_2 do segundo anteparo. Uma nova difração ocorre quando a luz atravessa essas fendas e duas ondas esféricas se propagam simultaneamente para a direita interferindo uma com a outra, até incidir numa tela de observação (terceiro anteparo) como mostrado na Figura 9.

Figura 9 O experimento de interferência de dupla fenda usando luz monocromática e fendas estreitas. Franjas produzidas pela interferência das ondas de Huygens das fendas S_1 e S_2 são observadas na tela.

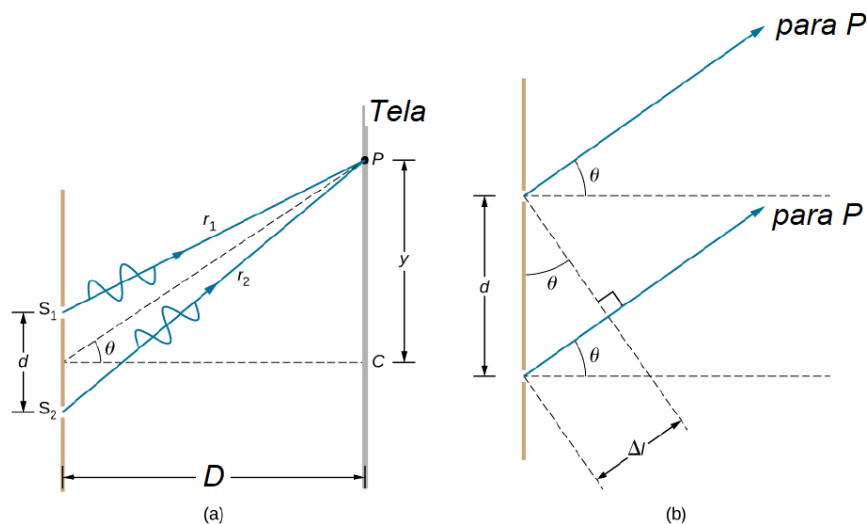


As ondas provenientes de cada fenda superpõem-se e interferem construtiva ou destrutivamente, em um certo ponto, dependendo da diferença de fase entre elas. Devido a esse efeito, observam-se, em um anteparo colocado na frente das fendas, regiões em que a intensidade da luz é máxima, alternadas com outras em que a intensidade é mínima, como mostrado, esquematicamente, na Figura 9.

Para obtermos esse padrão de interferência, com franjas claras e escuras, as ondas provenientes de cada fenda devem ser monocromáticas (de mesma frequência) e coerentes (a diferença de fase entre elas deve permanecer constante no tempo). A luz de um *laser* tem essas características tornando-se assim adequada para a obtenção de padrões de interferência.

Podemos usar a Figura 10(a) para representar uma onda plana que incide em uma placa com duas fendas. Nessa figura estão indicadas a separação d entre as fendas, a distância D da placa ao anteparo e o comprimento de onda λ da luz. Considere o ponto P , situado no anteparo, em uma posição determinada pelo ângulo θ .

Figura 10 Esquema geométrico de duas ondas, representadas pelos raios r_1 e r_2 , passando através das fendas estreitas e interferindo no ponto P .



Fonte 5 Adaptado de LING, SANNY, MOEBS (2016, p. 122)

Para atingir esse ponto, as ondas provenientes de cada fenda percorrem distâncias diferentes. Se a diferença entre essas distâncias (Δl , de acordo com a Figura 10(b)) é igual a um número inteiro de comprimentos de onda, essas ondas chegam em fase em P e a intensidade da luz, nesse ponto, será máxima. Se, por outro lado, a diferença entre essas distâncias é igual a um número ímpar de meios

comprimentos de onda, as ondas chegam fora de fase em P e a intensidade, nesse ponto, será mínima. De acordo com a Figura 10(b), Δl é o cateto oposto do triângulo retângulo definido por d e a projeção perpendicular de r_1 sobre r_2 . Assim,

$$\Delta l = d \sin \theta \quad (8)$$

O que nos leva a definir que para interferências construtivas,

$$d \sin \theta = m\lambda, \quad \text{com } m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (9)$$

e para interferências destrutivas,

$$d \sin \theta = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda, \quad \text{com } m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (10)$$

A posição de cada franja de interferência pode ser calculada através de y (dado na Figura 10(a)) e considerando a condição de baixo ângulo onde podemos aproximar $\sin \theta \approx \tan \theta$, implicando que, para as franjas claras;

$$\frac{m\lambda}{d} = \frac{y_m}{D}$$

ou

$$y_m = \frac{m\lambda D}{d} \quad \text{com } m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (11)$$

A intensidade das franjas de interferências é dada por;

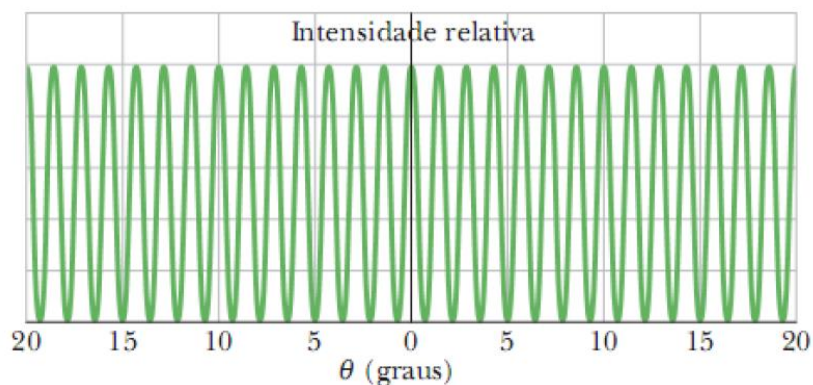
$$I = 4I_0 \cos^2 \beta \quad (12)$$

onde ϕ é a diferença de fase entre as ondas que atingem o ponto P, e

$$\beta = \frac{\phi}{2} = \frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta. \quad (13)$$

A plotagem da intensidade relativa I/I_0 do padrão de interferência é mostrado na Figura 11.

Figura 11 Plotagem da intensidade relativa do padrão de interferência em função da diferença de fase das ondas que interferem no ponto do anteparo.

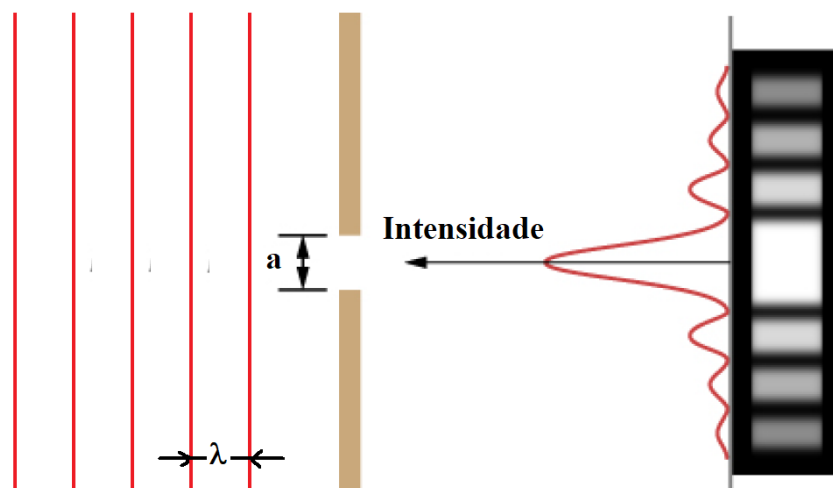


Fonte 6 Halliday

3.5 Difração em fenda única

Quando a luz, que é composta por ondas de uma única fonte ou oriundas de fontes coerentes, com comprimento de onda λ , atravessa uma fenda de tamanho aproximadamente igual ao seu comprimento de onda, a , uma figura de difração de uma fenda que consiste em um máximo central (franja clara) e uma série de franjas claras laterais separadas por franjas escuras (Veja Figura 12). Considerando o eixo central que passa pelo centro da franja clara máxima, os máximos estão situados aproximadamente a meio caminho entre os mínimos.

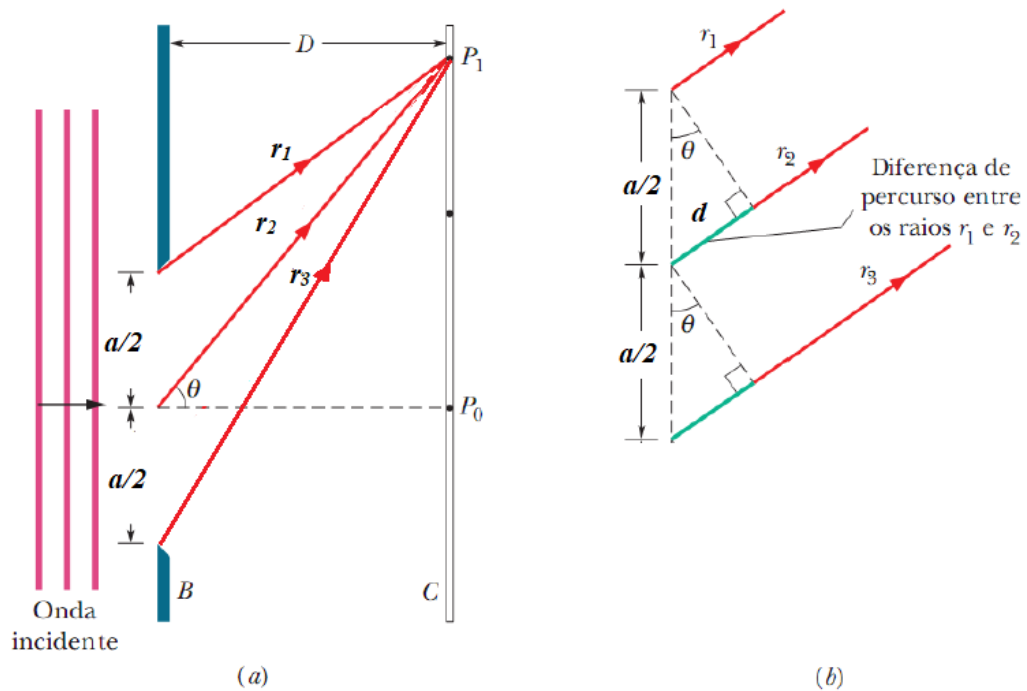
Figura 12 - Padrão de difração de fenda única. A luz monocromática que passa através de uma única fenda tem um máximo central, o mais brilhante, e máximos secundários (de intensidades menores) e mais escuros de cada lado.



Fonte: Adaptado de LING, SANNY, MOEBS (2016, p. 145)

Esse efeito pode ser analisado de acordo com o modelo de Huygens — cada porção da fenda atua como uma fonte de luz, pois participa da mesma frente de onda e estão em fase inicialmente, como mostrado na Figura 13(a). As ondas provenientes de cada ponto da fenda podem chegar ao anteparo em fase ou fora de fase, produzindo regiões respectivamente claras ou escuras. Considere o ponto P, situado no anteparo, em uma posição indicada pelo ângulo θ em relação a P_0 . O fato de termos usados aqui setas, não anula as ideias de Huygens, uma vez que elas indicam a direção de propagação das ondas, de onde podemos calcular o caminho percorrido por cada onda.

Figura 13 (a) Os raios provenientes da extremidade superior de duas regiões de largura $a/2$ sofrem interferência destrutiva no ponto P_1 . (b) Para $D \gg a$, podemos supor que os raios r_1 e r_3 são aproximadamente paralelos e fazem um ângulo θ com o eixo central.



Fonte 7 Halliday.

Inicialmente dividiremos a fenda mentalmente em 2 regiões de largura $a/2$. Os raios r_1 , r_2 e r_3 ligam cada ponto da fenda ao ponto P_1 . Quando o anteparo está muito próximo das fendas, o padrão de difração se torna muito difícil de descrever matematicamente. Para contornar isso, vamos supor que o anteparo esteja muito distante da fenda de forma que $D \gg a$ (como mostrado na Figura 13(b)), o que é de fato o que ocorre experimentalmente. Esse artifício faz com que apareçam vários triângulos retângulos, como o mostrado na Figura 13(b), cujo manejo matemático é conhecido. Nota-se que a diferença de percurso (d) entre cada par de raio é o cateto oposto a θ , em todos os referidos triângulos retângulos. Onde analisaremos as condições de mínimo de difração. Para isso tomaremos os pares de raios vizinhos e sugerimos que a condição de mínimo deve ser satisfeita sempre que a diferença de percursos entre os pares de raios seja meio comprimento de onda, $\lambda/2$.

Desta forma, se a diferença de percurso, d , entre os raios r_1 e r_2 , for $d = \lambda/2$, onde a hipotenusa do referido triângulo é $a/2$, estaremos numa condição de mínimo de difração, logo;

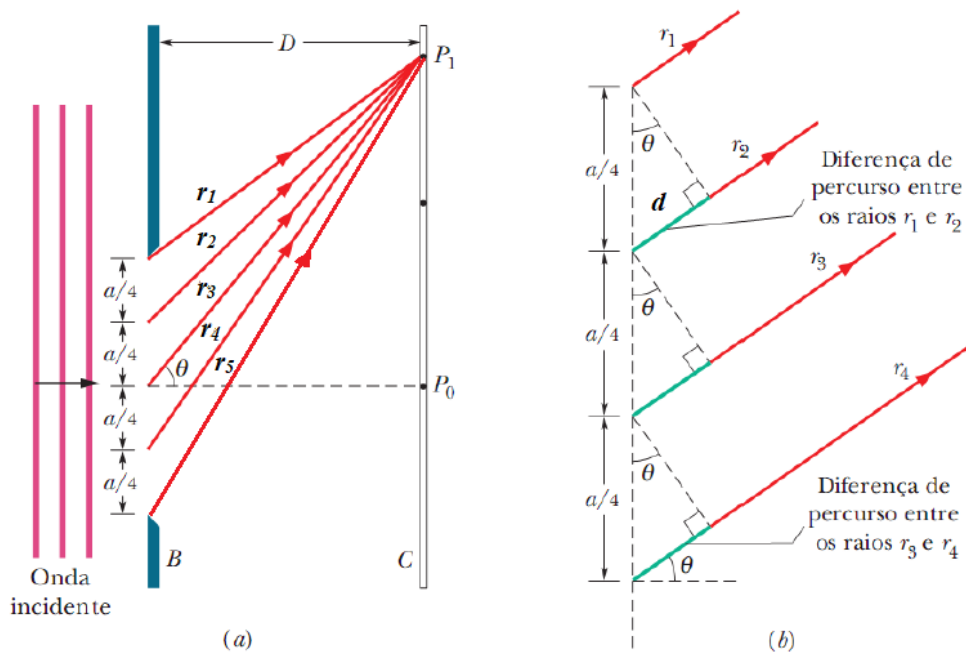
$$\sin \theta = \frac{d}{\frac{a}{2}} = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{2}{a} = \frac{\lambda}{a} \quad (14)$$

Assim, se fizermos o mesmo procedimento para os raios r_2 e r_3 encontraremos o mesmo resultado matemático, logo, essa é a primeira condição de mínimo de difração, onde

$$a \sin \theta = \lambda \quad (15)$$

Agora dividiremos a fenda mentalmente em 4 regiões de largura $a/4$, como mostra a Figura 14(a). Os raios r_1, r_2, r_3, r_4 e r_5 ligam cada ponto da fenda ao ponto P_1 .

Figura 14 (a) Os raios provenientes da extremidade superior de quatro regiões de largura $a/4$ sofrem interferência destrutiva no ponto P_1 . (b) Para $D \gg a$, podemos supor que os raios r_1, r_2, r_3, r_4 e r_5 são aproximadamente paralelos e fazem um ângulo θ com o eixo central.



Fonte 8 Halliday

Analisaremos a condição de mínimo de difração para esse caso. Desta forma, se a diferença de percurso, d , entre os raios r_1 e r_2 , for $d = \lambda/2$, onde a hipotenusa do referido triângulo é $a/4$, estaremos numa condição de mínimo de difração, logo;

$$\sin \theta = \frac{d}{\frac{a}{4}} = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{4}{a} = \frac{2\lambda}{a} \quad (16)$$

Assim, se fizermos o mesmo procedimento para todos os outros pares de raios vizinhos, encontraremos o mesmo resultado matemático, fazendo com que seja a segunda condição de mínimo de difração, onde

$$a \sin \theta = 2\lambda \quad (17)$$

Analogamente se dividirmos a fenda em 6 partes encontraremos a condição,

$$a \sin \theta = 3\lambda \quad (18)$$

que é a terceira condição de mínimo.

Se continuarmos a dividir a fenda em um número cada vez maior de regiões, chegaríamos à conclusão de que as posições das franjas escuras acima e abaixo do eixo central são dadas pela seguinte condição geral:

$$a \sin \theta = m\lambda, \text{ para } m = 1, 2, 3, \dots \quad (19)$$

A intensidade das franjas de difração é dada por;

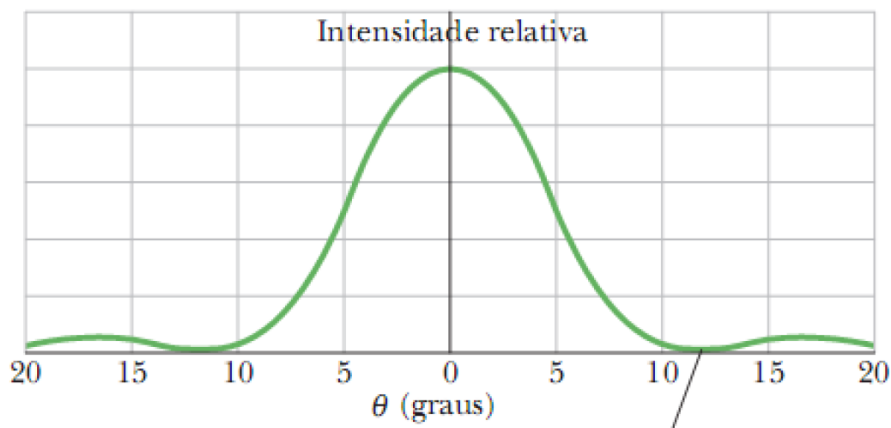
$$I = I_0 \left(\frac{\sin \alpha}{\beta} \right)^2 \quad (20)$$

onde ϕ é a diferença de fase entre as ondas que atingem o ponto P, e

$$\alpha = \frac{\phi}{2} = \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta. \quad (21)$$

A plotagem da intensidade relativa I/I_0 do padrão de interferência é mostrado na Figura 15.

Figura 15 Padrão de difração de fenda única calculado.

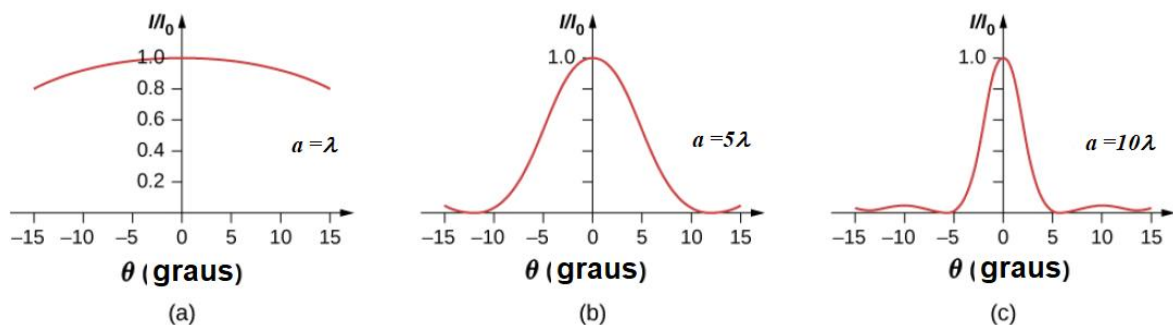


Fonte 9 Halliday

3.6 Fenda dupla

Quando estudamos a interferência no experimento de dupla fenda de Young, ignoramos o efeito de difração em cada fenda. Nós assumimos que as fendas eram tão estreitas que na tela você via apenas a interferência da luz de apenas duas fontes pontuais. Se a fenda é menor que o comprimento de onda, a Figura 16(a) mostra que há apenas um espalhamento de luz e não há picos ou vales na tela. Portanto, era razoável deixar de fora o efeito de difração naquele capítulo. No entanto, se você fizer a fenda mais larga, a Figura 16(b) e (c) mostra que você não pode ignorar a difração. Nesta seção, estudamos as complicações do experimento de dupla fenda que surge quando você também precisa levar em consideração o efeito de difração de cada fenda.

Figura 16 Padrões de difração de fenda única para várias larguras de fenda. À medida que a largura da fenda D aumenta de $D = \lambda$ para 5λ e depois para 10λ , a largura do pico central diminui à medida que os ângulos dos primeiros mínimos diminuem conforme previsto para



Fonte 10 Adaptado de LING, SANNY, MOEBS (2016, p. 155)

Para calcular o padrão de difração para duas (ou qualquer número de) fendas, precisamos generalizar o método que acabamos de usar para uma única fenda. Ou seja, em cada fenda, colocamos uma distribuição uniforme de fontes pontuais que irradiam ondas de Huygens e então somamos as ondas de todas as fendas. Isso fornece a intensidade em qualquer ponto da tela. Embora os detalhes do cálculo possam ser complicados, o resultado final é bastante simples:

O padrão de difração de duas fendas de largura D que são separadas por uma distância d é o padrão de interferência de duas fendas separadas por d multiplicado pelo padrão de difração de uma fenda de largura a .

Matematicamente a intensidade do padrão de difração de fendas duplas é dada por:

$$I(\theta) = I_m (\cos^2 \beta)^2 \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2, \quad (22)$$

onde

$$\beta = \frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta, \quad (23)$$

que é um fator de interferência que depende de d que é a distância entre as fendas, e

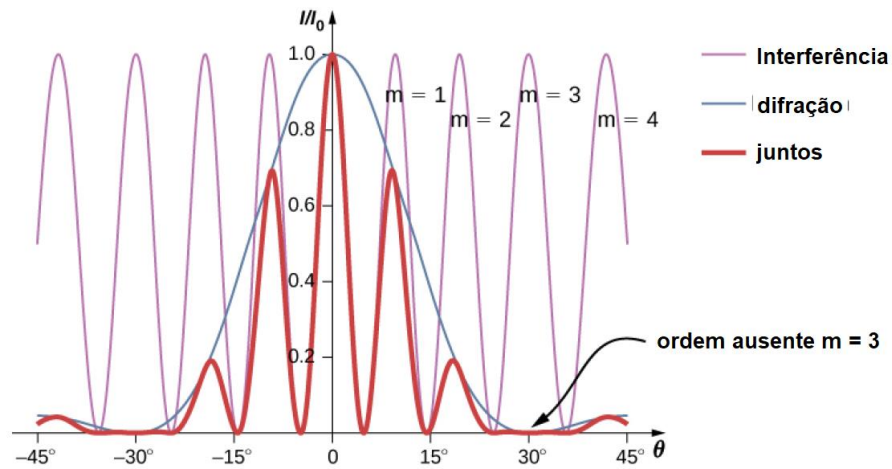
$$\alpha = \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta \quad (24)$$

que é um fator de difração que depende de a que é a largura das fendas.

Em outras palavras, os locais das franjas de interferência são dados pela equação $d \sin \theta = m\lambda$, a mesma de quando consideraram as fendas como fontes pontuais, mas as intensidades das franjas agora são reduzidas por efeitos de difração, segundo o fator $\left(\frac{\sin \alpha}{\alpha}\right)^2$ da equação 22. Observe que em interferência de ondas, escrevemos $d \sin \theta = m\lambda$ e usamos o número inteiro m para nos referir a franjas de interferência. A equação 19 também usa m , mas desta vez para se referir aos mínimos de difração. Se ambas as equações forem usadas simultaneamente, é uma boa prática usar uma variável diferente (como n) para um desses números inteiros para mantê-los distintos.

Os efeitos de interferência e difração operam simultaneamente e geralmente produzem mínimos em ângulos diferentes. Isso dá origem a um padrão complicado na tela, no qual faltam alguns dos máximos de interferência das duas fendas se o máximo da interferência está na mesma direção que o mínimo da difração. Nos referimos a um pico ausente como uma ordem ausente. Um exemplo de um padrão de difração no anteparo é mostrado na Figura 17. A linha sólida com múltiplos picos de várias alturas é a intensidade observada na tela. É o produto do padrão de interferência de ondas de fendas separadas e a difração das ondas de uma fenda.

Figura 17 Difração de uma fenda dupla. O gráfico mostra o resultado esperado para uma fenda de largura $D = 2\lambda$ e separação da fenda $d = 6\lambda$. O máximo de $m = \pm 3$ ordem para a interferência é ausente porque o mínimo da difração ocorre na mesma direção.

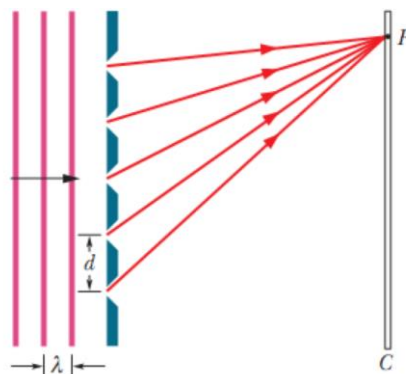


Fonte 11 Adaptado de LING, SANNY, MOEBS (2016, p. 156)

3.7 Redes de difração

Uma rede de difração tem um comportamento semelhante a uma fenda dupla exceto pela quantidade de fendas existentes na rede. De acordo com Haliday “um dos dispositivos mais usados para estudar a luz e os objetos que emitem e absorvem luz é a rede de difração” (Haliday 2016, 279). A luz ao atravessar uma rede de difração sofre um espalhamento e produz vários pontos de luz e escuridão. (Quando a luz difratada produz pontos de luz estreitos, denominam-se linhas). Na Figura 18 podemos ver uma rede de difração simplificada.

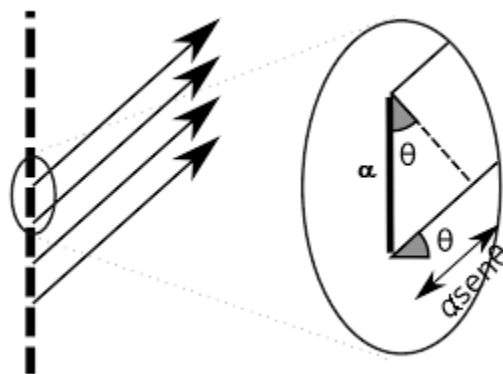
Figura 18 – Rede de Difração simplificada.



Fonte: (HALIDAY, 2016)

Para determinar as posições das linhas no anteparo usamos as mesmas considerações feitas para a dupla fenda. Considerando duas fendas vizinhas, veja a ampliação na Figura 19, nota-se que a $\text{sen}\theta = m\lambda$, o mesmo para uma fenda simples ($m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$). Se uma rede contém M fendas com espaçamentos iguais a a ocupando largura total A , então $a = \frac{A}{M}$ e a distancia A entre a primeira (primeiro raio) e última fenda (ultimo raio) será Ma , que corresponde a abertura total. Então podemos escrever $M.a.\text{sen}\theta = m\lambda$ para os raios extremos da rede.

Figura 19 – Múltiplas fendas simplificadas.



Fonte: Adaptada de <http://estudeadistancia.professordanilo.com/?tag=rede-de-difracao>.

Se determinarmos a distância entre duas fendas, e o tamanho da rede, poderemos determinar a razão M/A (fendas por metro) uma vez que a rede seja homogeneamente espaçada. Considera-se a distância entre o centro do máximo central ($m=0$) e o centro do primeiro máximo ($m = 1$).

4 PRODUTO EDUCACIONAL

Para embasar este trabalho, escolheu-se como referencial teórico a teoria de David Ausubel associada a sequência didática de Marco Antônio Moreira. A pesquisa delinea-se como mista (quantitativa e qualitativa). Fazendo uso de dados matemáticos, questionários, observação e análise documental aliada a recursos tecnológicos tal como celular para gravação de fotos, obedecendo a princípios estabelecidos quanto à ética, de modo a preservar a privacidade dos envolvidos na pesquisa.

. Convém lembrar ainda que todos os envolvidos serão submetidos a apreciação e aceite do trabalho indicando se a finalidade, importância e passos da pesquisa.

4.1 Sequência didática

Com o intuito de propor melhorias na aprendizagem do conteúdo da difração da luz, desenvolve-se aqui uma Sequência Didática baseada na proposta de Marco Antônio Moreira (MOREIRA s.d.) e fundamentada na teoria de David Ausubel, segmentada em passos, e ser aplicada em uma sala de aula resumida em 5 encontros com duração de uma hora-aula cada encontro.

1º Encontro – Informar aos alunos aspectos da sequência, como será a abordagem e logo após aplicar um teste visto no apêndice I.

2º Encontro – Elabora-se um mapa conceitual sobre Ondulatória a fim de sondar seus conhecimentos prévios e preparar os Organizadores Prévios sobre: Oscilação, Onda, Frequência, Período, Amplitude e Ressonância.

3º Encontro – Inicia a aula com a Problemática Propondo situações problemas com difração: Por que você consegue ouvir uma pessoa do outro lado do muro, mas não a vê? Já viste alguma figura de interferência de ondas na água? desenvolve-se uma aula introduz-se a óptica geométrica e física culminando com a difração e interferência e em seguida divide-se a turma em 4 grupos de acordo com o número de temas (4) e deverão produzir os seguintes trabalhos:

3.1 – Experimentos sobre difração em um obstáculo; (fio de cabelo)

3.2 – Rede de difração;

3.3 – Produção de cartaz relatando o histórico de alguns dos personagens responsáveis pelo estudo do efeito da difração, tais como Huygens, Grimaldi, Fresnel e Fraunhofer.

3.4 – Produção de vídeo

Finalizada a aula os alunos devem estar aptos a responder às perguntas das situações problemas, uma vez que estes já foram tratados durante o encontro.

4º Encontro – os alunos apresentam suas produções e em seguida aprofunda-se o tema com resolução de problemas pelos alunos de modo individual.

5º Encontro - Aplica-se um questionário de pesquisa de satisfação e sugestão de

4.2 Experimentos trabalhados em sala de aula

No ensino da física o experimento é uma ferramenta importante, pois proporciona uma visualização dos conceitos abordados na aula. O aluno em contato com a prática tem uma construção do conhecimento mais significativa, pois ele tem chance de confrontar sua construção mental com a realidade cotidiana.

Dentre as metodologias e ferramentas utilizadas pelos professores para a educação efetiva da Física podem ser citadas a prática de experimentações como um dispositivo que retém o interesse e gera o estímulo para a aprendizagem mediante a observação, análise, exploração, planejamento e o levantamento de hipóteses que possibilitam aos alunos desenvolver suas habilidades, tornando-a mais significativa pelo estabelecimento de vínculos entre conceitos físicos e fenômenos naturais vivenciados. (GRASSELLI E GARDELLI, 2014, p. 2)

O uso de experimentos feitos em laboratórios ou não (feitos na sala de aula) funcionam como reforço no ensino aprendizagem em Física.

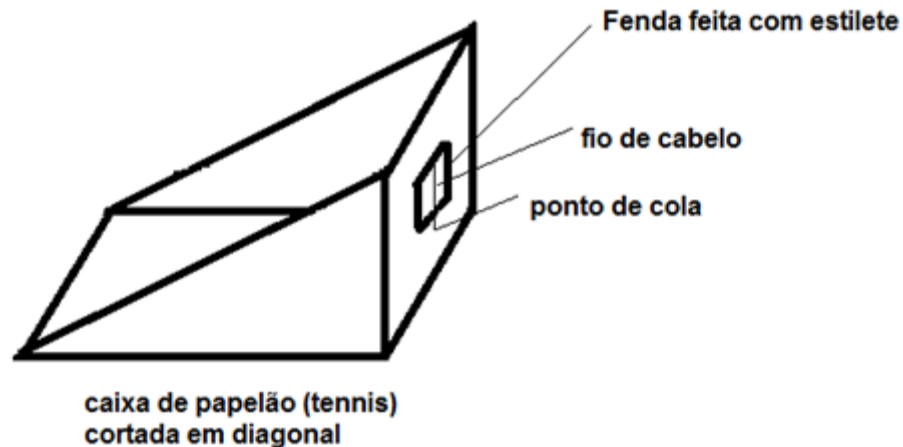
4.2.1 Confeção do experimento de difração sobre um fio de cabelo

Atualmente a obtenção de um laser é algo muito simples. Alguns modelos custam até R\$ 5,00. De posse do instrumento, temos que ter cuidado para não apontar para as pessoas, pois pode ser perigoso. Uma incidência de Laser nos olhos pode causar danos à retina e cegueira irreversível.

1 – Consiga um fio de cabelo (muito simples) e uma caixa de papelão (aquelas embalagens para tênis ou sapato).

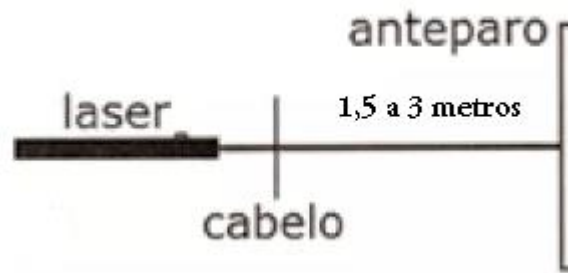
2 – Com o uso de um estilete, corte a caixa em diagonal e faça uma janela aproximadamente 5 x 5 cm, conforme a figura 25. Fazendo uso de cola rápida, faça a fixação de um fio de cabelo sobre a janela e temos uma base para a incidência da luz laser.

Figura 20 - Caixa de papelão preparada para o experimento de difração.



3 – Consiga um aparato (uma parede lisa e branca). Posicione o Laser de modo que o feixe atravesse o fio de cabelo e observe o que acontece com a projeção na parede. O diagrama abaixo, figura 26, dá uma ideia de como montar seu experimento. Observe que o fio de cabelo deve ficar a mais ou menos 1,5 a 3 metros de distância da parede.

Figura 21 – Esquema de montagem do experimento.



Fonte: adaptada de <https://renataquartieri.com/vestibular-2/exercicios/fenomenos-ondulatorios/>

4 – Ao apontar o Laser para a parede esta deve ser a imagem que você vai obter figura 27.

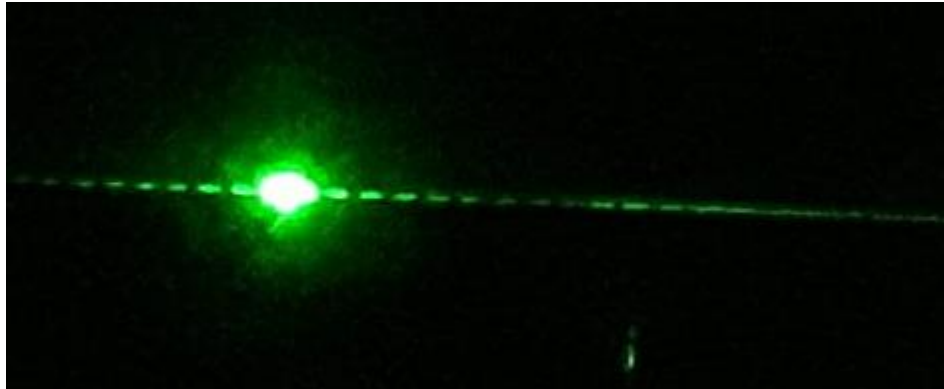
Figura 22 – Ponto de luz obtida com laser.



Fonte: Adaptada de <http://www.pontociencia.org.br/experimentos/visualizar/qual-e-a-espessura-de-um-fio-de-cabelo/774>

5 – Apontando o Laser para o fio de cabelo e ajustando a distância do Laser em relação ao fio de cabelo, você deve obter a imagem abaixo, figura 28.

Figura 23 – Franjas obtidas com o fio de cabelo posicionado na frente do laser



Esse fenômeno que você está notando é a difração da luz. A imagem esperada seria a da figura 27, mas o obstáculo (fio de cabelo) sendo muito pequeno proporciona o efeito difração (espalhamento da luz) em pequenos segmentos de luz projetados no anteparo, ou seja, com a formação de pontos escuros e claros, sendo que o ponto central tem um comprimento maior e mais brilhante que os outros.

Material necessário: caixa de papelão, Laser, fio de cabelo, cola, estilete e mesa.

4.2.2 Experimento sobre redes de difração

Segundo Scarinci, O *Compact Disc* (CD) tem dimensões de 12 cm de diâmetro, 1,2 mm de espessura e um buraco no centro de 15 mm de diâmetro (Scarinci s.d.)

Embora a superfície pareça lisa e brilhante há furos microscópicos de aproximadamente 0,1 μm de profundidade e 3,3 μm de comprimento formando sulcos (pits) e afastados por 1,6 μm em espiral. O comprimento de onda da luz visível está na faixa de 400nm a 700nm (Haliday 2016, 31), ou melhor, 0,4 μm a 0,7 μm então percebe-se que os sulcos (fendas) estão próximos do comprimento de onda da luz e o CD contendo esses microscópicos furos pode ser considerado uma rede de difração pois ambos tem o mesmo princípio de construção.

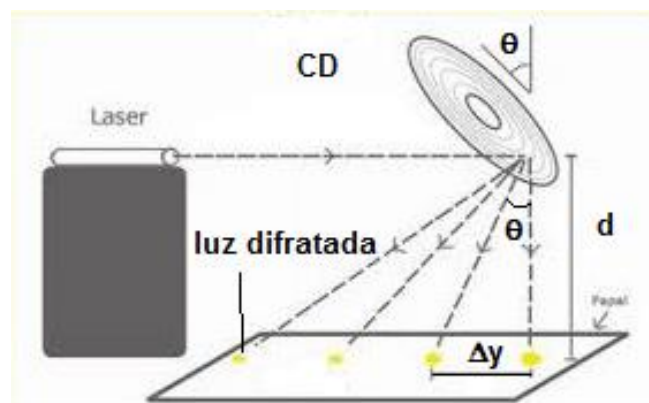
Figura 24 - Aspectos de um CD



O aluno não encontrará dificuldade em obter um CD descartado e um laser. Ao apontar o laser para o *cd* e acionar vai obter por reflexão (rede de reflexão) pontos de luz espaçados se estiver com a camada brilhante. Pode usar também um DVD (digital vídeo disc), mas a distância entre os pontos de luz refletidos será bem maior.

O esquema de montagem do experimento para visualizar o efeito da rede de difração pode ser visto na figura 29.

Figura 29 - Esquema de montagem do experimento.



Fonte: Adaptada de portaldoprofessor.mec.gov.br

Material necessário: Laser, CD, caixa de papel, suporte e régua

O aluno poderá confirmar a distância entre os sulcos de um CD ou DVD, calculando ainda a distância entre as fendas com o uso de

$$\alpha \sin \theta = m\lambda \quad (2.9.6)$$

Então $\alpha = \frac{m\lambda}{\sin \theta}$

o $\sin \theta$ pode ser calculado por

$$\sin \theta = \frac{\Delta y}{\sqrt{\Delta y^2 + d^2}} \quad (3.4.1)$$

logo

$$\alpha = \frac{\lambda \sqrt{\Delta y^2 + \alpha^2}}{\Delta y}, \quad (3.4.2)$$

em que

α = distância ente os sulcos (fendas)

m = número relativo à fenda (no caso 1 é relativo à primeira fenda)

λ = comprimento da onda da luz (a ser pesquisado)

Δy = distância entre os pontos de luz no anteparo (franjas)

d = distância entre o anteparo e o ponto de incidência da luz no cd

4.3 Produção de vídeo

Atualmente o processo de expansão midiática permitiu qualquer pessoa produzir um vídeo, mesmo aqueles que possuem pouca intimidade com um celular. Para um melhor aproveitamento, basta direcionar o uso do dispositivo, uma vez que o mesmo se torna um recurso auxiliar bem barato. Uma explicação apropriada vem de um artigo recente.

A nova geração de crianças já chega à escola com mais conhecimentos e sede de aprender algo que seja atraente, significativo, pois está conectada a videogames, internet, celulares, e é telespectadora desde sua vivencia familiar anterior à escola. A instituição escolar, por sua vez, tem o desafio de educar esta nova geração, como por exemplo, usando o vídeo em suas aulas

como gerador de polêmicas, motivador e informador. (PANZINNI E ARAÚJO, 2013)

Daí o aluno pode muito bem expressar o que aprendeu sobre certo assunto produzindo um vídeo ressaltando seu conhecimento adquirido.

O grupo de alunos responsável pelo vídeo deve reproduzir o experimento acima, filmar e reproduzir vídeo + áudio explicando o funcionamento da difração.

Material necessário: celular; caixa de papelão, Laser, fio de cabelo, cola, estilete e mesa.

4.4 Produção de cartazes

Uma forma muito útil de expressão do conhecimento é a produção de cartazes, que são um meio de apresentação e fixação de conteúdo. Embora pareça infantil, tipo ensino fundamental, é um espaço onde os alunos podem usar sua arte em desenhos e produção textual para seu entendimento e propagação das informações.


Neste trabalho orienta-se a produção de cartazes para que estes contenham a história e desenhos ou imagens de vultos da Física.

O grupo responsável pelo(s) cartaz(es) deve pesquisar em livros ou internet a biografia de Huygens, Fresnel, Fraunhofer e Grimaldi produzindo seu próprio texto fazendo referência também ao trabalho do cientista, inserindo (colando) desenho ou figura recortada de revista descartada ou jornal no cartaz. Um modelo de cartaz é apresentado na figura 30.


Material necessário: Cartolina, revista ou livros e ainda internet, lápis, lapiseira, tesoura, cola.

Figura 25 – Exemplo de cartaz.

ISAAC NEWTON (1642–1727)

 **O** FÍSICO E MATEMÁTICO inglês Isaac Newton foi um dos maiores cientistas de todos os tempos. Suas teorias revolucionaram o pensamento científico e estabeleceram as bases da Física moderna. Seu livro *Principia Mathematica* (Princípios da Matemática) é um dos trabalhos mais importantes da ciência moderna.

Newton descobriu a lei da **gravidade** e formulou as três leis do movimento, atuais ainda hoje. Foi o primeiro a fracionar a luz branca nas cores do **espectro**. As pesquisas sobre a luz levaram-no à construção do telescópio refletor. Foi ainda um dos pioneiros no desenvolvimento de um ramo da Matemática chamado **cálculo** diferencial.



Fonte: <http://www.edukapa.com.br/FisicaNet/HistoriadaFisica/Newton.htm>

5 APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL E COLETA DE DADOS

No, dia 29 e 30 de abril de 2019, apresentou-se a proposta aos alunos das terceiras séries do Ensino médio: turma 304 com 38 alunos, sendo 23 meninas e 15 meninos e turma 305, com 40 alunos. Sendo 15 meninos e 25 meninas. Na oportunidade explicou-se a que estavam sendo convidados a participar, e significado da pesquisa. Esclareceu-se que toda participação deveria ser de vontade expressa e que todo conteúdo a ser abordado não teria cunho prejudicial.

Finalizada as apresentações iniciou-se um diálogo sobre certos conhecimentos prévios necessários a abordagem do tema: Difração. Alguns alunos já possuíam conhecimentos sobre o assunto.

5.1 O questionário

No Primeiro encontro formulou se um questionário com questões abertas segundo (SurveyMonkey 1999 - 2019), com objetivo de coletar respostas e entender o nível de conhecimentos que as turmas possuíam. e configurar os Subsunçores através dos Organizadores prévios

As perguntas abertas são exploratórias por natureza e oferecem aos pesquisadores dados avançados e qualitativos. Em suma, elas proporcionam ao pesquisador a oportunidade de obter insights sobre todas as opiniões relacionadas a um tema com o qual ele não tem familiaridade. No entanto, por ser qualitativo por natureza, esse tipo de pergunta não tem a relevância estatística necessária para uma pesquisa conclusiva. (SurveyMonkey 1999 - 2019)

O questionário foi elaborado com dez perguntas sobre pressupostos conhecimentos relevantes à difração e o mesmo pode ser visto no **Apêndice I**. No dia da aplicação do questionário, 27 alunos da turma 304 e 18 alunos da turma 305 participaram do processo. O reduzido número de participantes nas turmas deu-se ao período chuvoso.

Abaixo temos um gráfico contendo a relação da amostra utilizada com o número de ausentes e o número total de alunos.

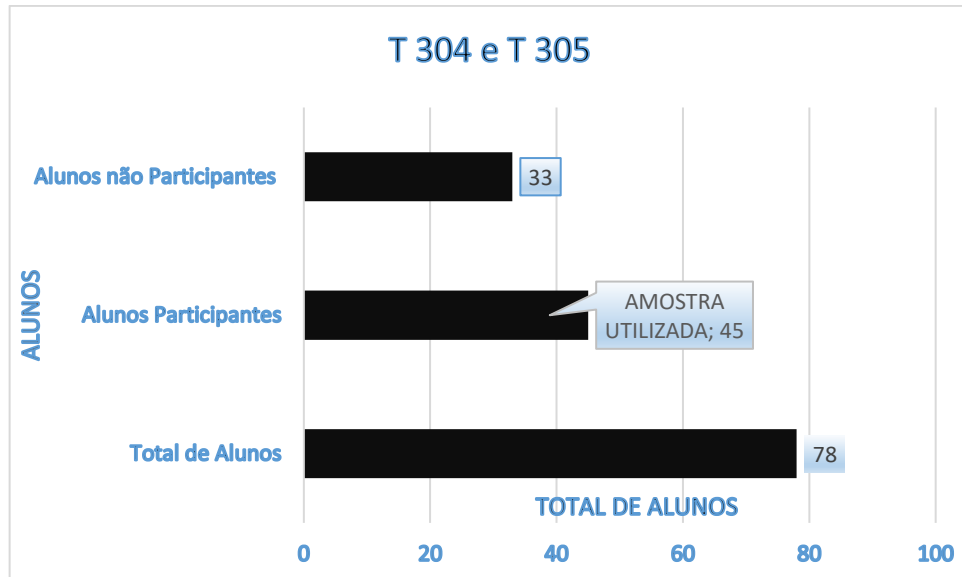


Gráfico 1- Amostragem e Total de alunos

5.2 Construindo o mapa conceitual

Analisou-se as respostas obtidas no questionário inicial composto por 10 questões com objetivo de analisar o quanto havia em seus conhecimentos prévios sobre ondulatória e iniciou-se uma discussão sobre os princípios necessários à compreensão do tema difração da luz, tecendo um mapa conceitual a partir das falas dos alunos.(montagem dos Organizadores Prévios) Assim corrigiram-se certos conceitos incompletos e mal interpretados pelos alunos.(formação dos Subsunçores)

5.3 Observações sobre a aula

Nesse encontro desenvolveu-se uma aula dialogada sobre a difração da luz, resgatando seus conhecimentos prévios (Padre Grimaldi, Fresnel, Fraunhofer, Newton, Huygens, onda, frequência da onda, comprimento de onda, princípio de Huygens, interferência construtiva e destrutiva, diferença de percurso, princípios de Geometria) na construção da Aprendizagem Significativa em Difração. Em seguida, ainda neste encontro dividiu-se a turma em 4 grupos de 8 ou 9 alunos e propôs-se a realização de uma pesquisa na net e/ou livros didáticos com culminância em

apresentação de trabalhos: produção de cartazes, vídeo, experimento demonstrando uma rede de difração e medida da espessura de um fio de cabelo com uso de um laser.

5.4 Desenvolvimento das atividades

No quarto encontro os alunos das equipes: turmas 304 e 305, montaram os Experimentos, Redes, Produção de Cartazes e Produção de vídeo conforme as imagens abaixo e fizeram as apresentações.

Figura 26- Experimento montado para verificar o efeito da difração no fio de cabelo: turma 304



Figura 27 - Montagem para verificação da difração em um fio de cabelo: turma 305



Figura 28 - Imagem obtida com a incidência do laser sobre o fio de cabelo.

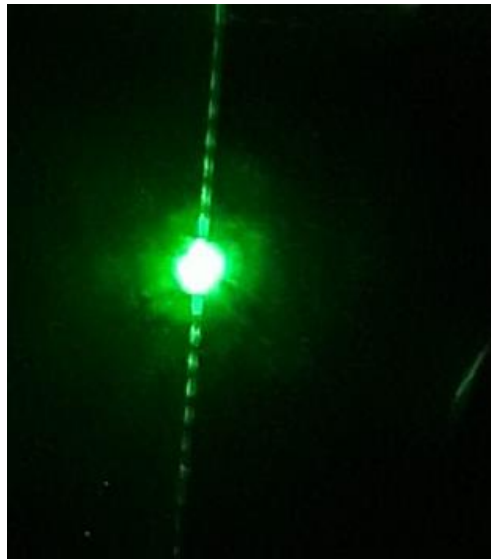
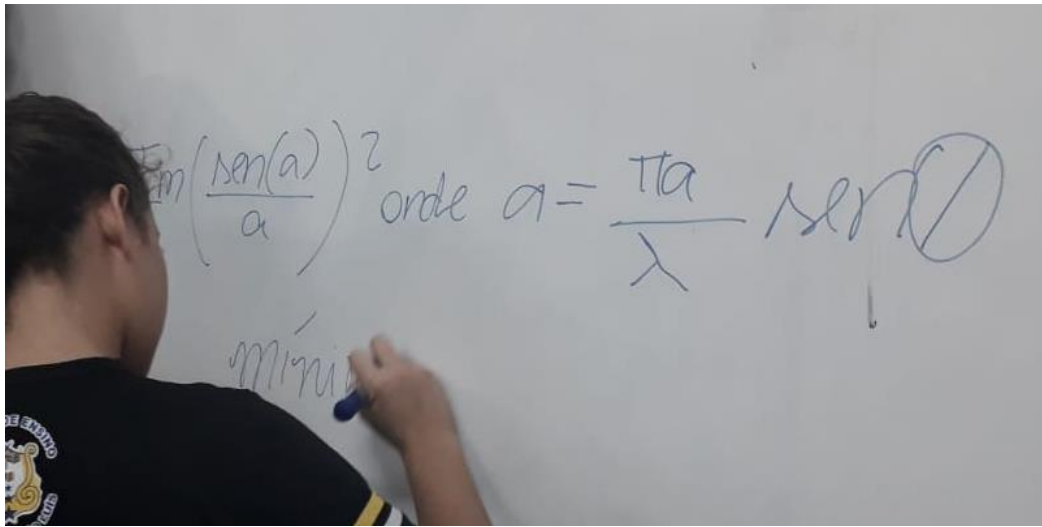


Figura 29 – Calculo da espessura do fio de cabelo - Turma 305



As segundas equipes apresentaram as redes de difração utilizando CD e DVD

Figura 30– Montagem da Rede de Difração: Turma 304

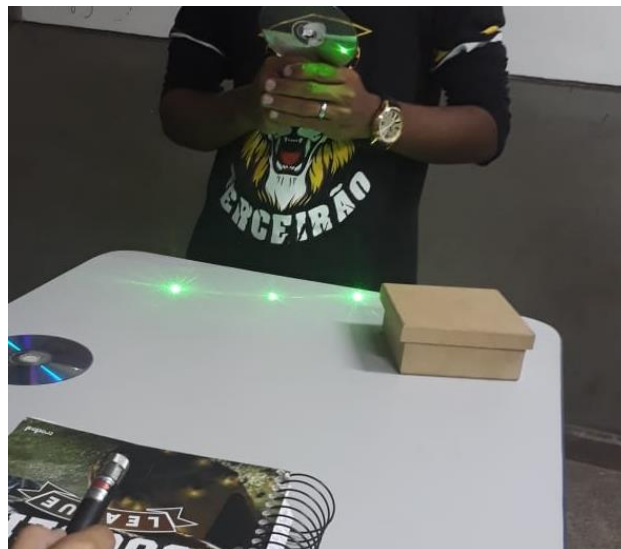


Figura 31 - Montagem para a rede de difração T 305



As terceiras equipes apresentaram a mostra de cartazes sobre os precursores da difração.

Figura 32– Cartazes produzidos: Turma 304

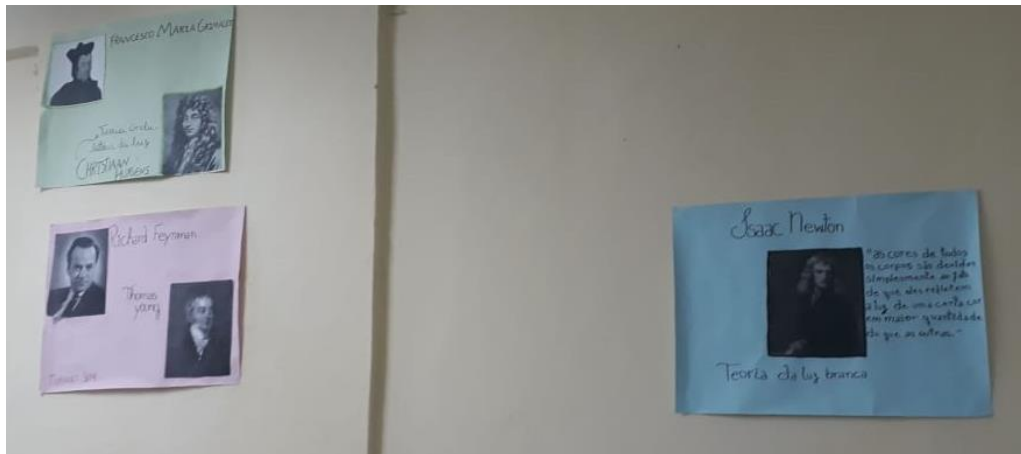


Figura 33 - Cartaz produzido: Turma 305

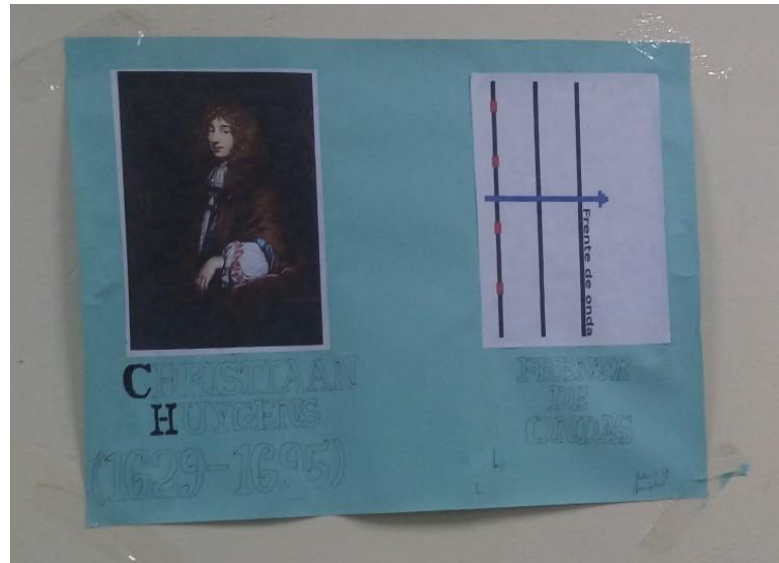


Figura 34 - Cartazes produzidos: Turma 305



A quarta equipe produziu um vídeo explicando o que é difração da luz

Ao se analisar as respostas dos alunos da Turma 305, na exigência do desenho do formato de uma onda (questão 1), dentre os 18 entrevistado somente 1 não soube definir uma onda graficamente

Na questão 2 onde pediu-se para descrever quais tipos de ondas conheciam todos referiram-se as ondas: sonora, eletromagnética e gravitacionais.

Na questão 3, sobre como produzir ondas 12 alunos, referiram-se à produção de um pulso eletromagnético; 2 não souberam opinar; 2 descreveram a produção de ondas pelo vento; 1 descreveu a produção de uma onda Tsunami e outro (só um) mencionou a produção de onda sonora através de outra onda.

Quanto ao movimento periódico e O que é período, questão 4, 9 alunos responderam satisfatoriamente que entendiam; 4 não opinaram, 4 desconheciam o movimento periódico e 1 definiu de forma incorreta.

Analisando a questão 5 sobre: O que é frequência? 9 alunos desconheciam o assunto, enquanto 9 já retinham a definição sobre.

Sobre o conhecimento da ressonância (questão 6) 5 alunos entendiam o significado físico enquanto 2 não opinaram. 1 aluno disse que sim, mas não definiu. Outro respondeu que não sabia e 9 alunos associaram ressonância ao exame médico da ressonância magnética.

Na questão 7, em conhecimento sobre interferência de ondas, 5 alunos possuíam uma concepção deturpada, enquanto 9 deles sabiam do que se tratava e outros 5 não souberam definir.

Questão 8: Interferência de ondas na água 4 alunos responderam que já haviam presenciado o fenômeno nas águas da maré e 14 alunos, ou seja, o resto dos entrevistados desconhecia o fenômeno na prática.

Em princípios geométricos, nona questão, para descrever sobre seno, cosseno e tangente 10 alunos detinham o conhecimento, e 8 alunos não conheciam ou não estavam lembrando.

Na décima pergunta sobre, por que você consegue ouvir uma pessoa do outro lado do muro, mas não vê, 15 alunos referiram-se à difração do som. Quanto a difração da luz ninguém opinou e 3 alunos não souberam explicar.

Depois de aplicar e sondar as respostas do questionário, passou-se a tecer um diálogo elucidando as definições pertinentes, e preparando os Organizadores Prévios com o objetivo de reforçar os Subsunçores necessários aos novos saberes da difração da luz.

Abaixo insere-se uma tabela construída com porcentagens de erros e acertos da aplicação do questionário de verificação dos conhecimentos prévios existentes no cognitivo dos alunos.

Tabela 1 - Erros e acertos no teste diagnóstico.

Questionário sobre concepções de ondulatória para o terceiro ano do ensino médio				
QUESTÕES	TURMA 304		TURMA 305	
	Acertos	Erros	Acertos	Erros
Questão 1	100%	0%	94%	6%
Questão 2	100%	0%	100%	0%
Questão 3	83%	17%	61%	39%
Questão 4	30%	70%	50%	50%
Questão 5	30%	70%	50%	50%
Questão 6	66%	34%	50%	50%
Questão 7	34%	66%	50%	50%
Questão 8	15%	85%	22%	78%
Questão 9	37%	63%	55%	45%
Questão 10	55%	44%	83%	17%

Ao aplicar um questionário de aferição dos conhecimentos prévios percebeu-se de acordo com as análises do total de respostas obtidas comparadas nos gráficos 2 e 3 abaixo, os alunos da turma 304 possuíam mais conhecimentos prévios do que os alunos da turma 305, isto ocorre porque a turma 304 apresentou mais alunos que a turma 305 e considerando o desvio padrão, percebe-se que a T 305 apresenta um valor menor desviado da média e isto qualifica a 305 como detentora de mais conhecimentos prévios que a 304.

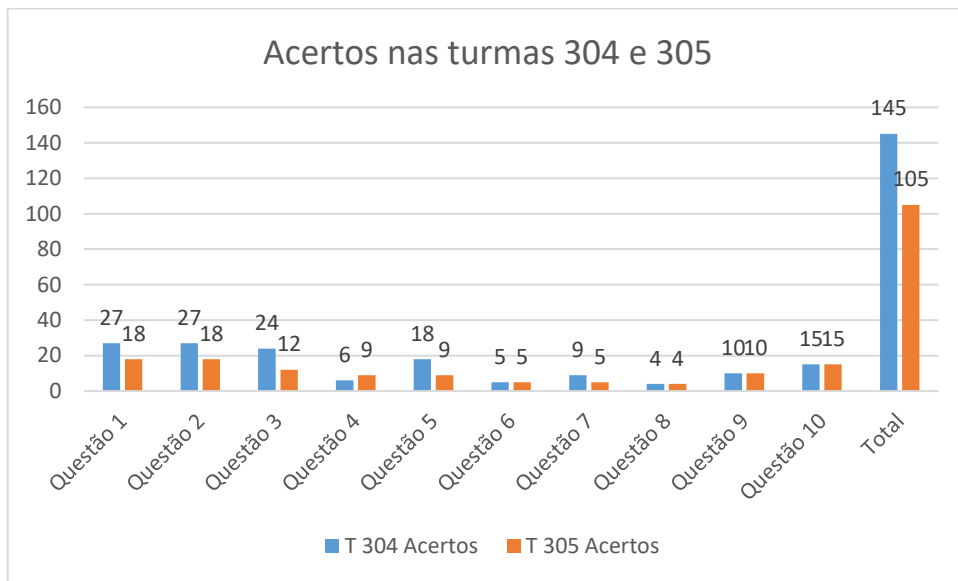


Gráfico 2 Comparação dos acertos das turmas 304 e 305

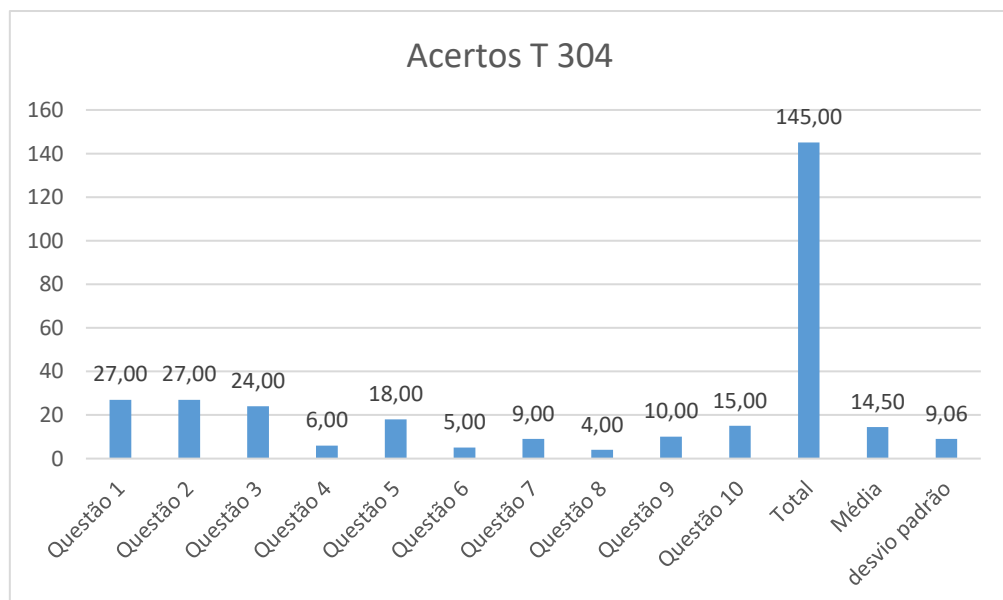
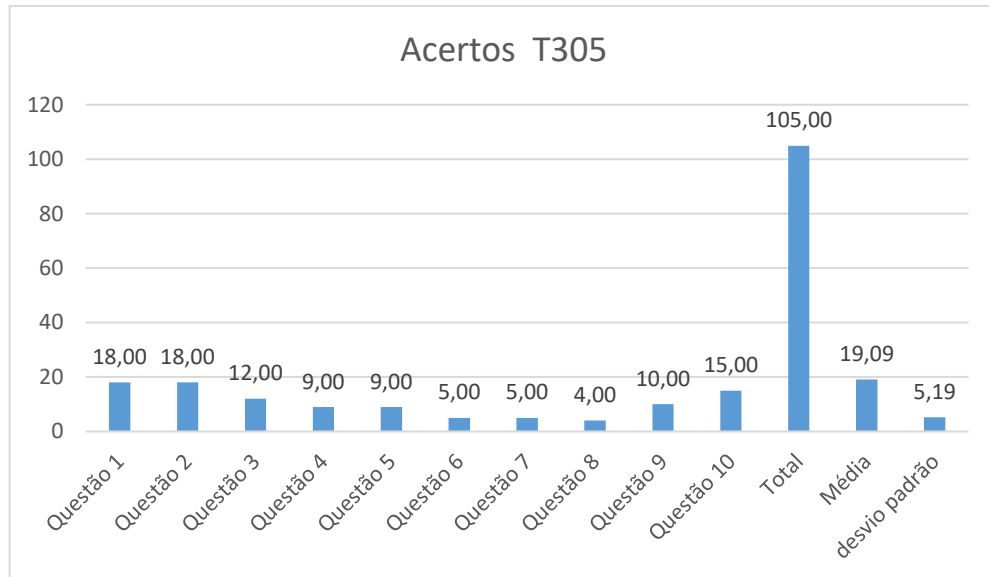


Gráfico 3 Relação de acertos da turma 304**Gráfico 4 Relação de acertos da turma 305**

De qualquer modo a ideia de aplicação destas questões era para saber o quanto possuíam de conhecimentos prévios e a partir destes reforça-los para que formem os Subsunoçores necessários para a compreensão dos novos conhecimentos sobre Difração da Luz.

5.6 Questionário sobre difração da luz

No terceiro encontro aplicou-se aula referente a Difração da Luz e dividiu-se a turma em grupos de acordo com a identificação da proposta a ser trabalhada e no encontro seguinte, os alunos apresentaram seus trabalhos produzidos.

Após apresentação, no quarto encontro os alunos foram submetidos a um teste para aferir os conhecimentos obtidos na aula e desenvolvimento dos trabalhos. O numero de alunos que participaram na turma 304 foram 18 e na turma 305, participaram 29 alunos.

Comparando as tabelas 2 e 3 pode-se verificar que a T 304 obteve mais aprendizagem do que a T 305, pois o total de alunos da T 304 dentro da média é 13

(mais da metade que se submeteu ao questionário) e na T 305 tivemos só 7 alunos dentro da média³ daí afirma-se que houve aprendizagem significativa somente na turma T 304.

Tabela 2 Relação das notas obtidas na Turma 304

Turma 304	Notas
Aluno 1	7
Aluno 2	6
Aluno 3	6
Aluno 4	6
Aluno 5	5
Aluno 6	5
Aluno 7	6
Aluno 8	5
Aluno 9	7
Aluno 10	6,5
Aluno 11	6
Aluno 12	7
Aluno 13	6
Aluno 14	6
Aluno 15	4,5
Aluno 16	6,5
Aluno 17	5
Aluno 18	6

Tabela 3 Relação das notas obtidas na Turma 305

Turma 305	Notas
Aluno 1	5,5
Aluno 2	5,5
Aluno 3	5,5
Aluno 4	2,5
Aluno 5	6
Aluno 6	4,5
Aluno 7	4,5
Aluno 8	6,5
Aluno 9	3
Aluno 10	5,5
Aluno 11	3
Aluno 12	9

³ A média de aprovação nas escolas é 6,0

Aluno 13	7
Aluno 14	9
Aluno 15	2
Aluno 16	4,5
Aluno 17	4,5
Aluno 18	4,5
Aluno 19	4
Aluno 20	3
Aluno 21	4,5
Aluno 22	7
Aluno 23	4,5
Aluno 24	4,5
Aluno 25	5
Aluno 26	2,5
Aluno 27	4
Aluno 28	7
Aluno 29	4

5.7 Questionário pós-atividades

5.7.1 Análise das respostas da turma 304

Como já citado o período chuvoso fez com que somente 18 alunos da turma 304 participassem do questionário que visava avaliar os conhecimentos obtidos durante a aplicação da sequência didática fundamentada na Difração.

Na correspondência do experimento de Thomas Young com a difração da luz utilizando duas fendas todos acertaram a primeira questão.

Questão 2: Ao relacionar o comprimento da onda com o tamanho do obstáculo ou tamanho da fenda 6 alunos souberam relacionar e 12 não marcaram a questão corretamente.

Na distinção das condições dos fenômenos difrativos, questão 3, 4 alunos obtiveram erro e 14 obtiveram acertos.

Quarta questão: Distinguir graficamente ondas em fase e defasadas: 3 alunos não souberam opinar, outros 3 identificaram metade da questão e 12 distinguiram corretamente as ondas em fase e defasadas.

Identificação gráfica de interferência construtiva ou destrutiva, questão 5, obteve-se 10 respostas corretas e 8 sem definição.

Todos acertaram a questão 6 onde o aluno deveria identificar a correspondência dos pontos claros e escuros com as interferências destrutiva ou construtiva.

Na questão 7, que tratava da relação do fenômeno da incidência da luz em um CD e seu comportamento como rede de difração só 6 alunos marcaram a opção correta e 12 marcaram outras opções

Todos erraram a oitava questão, onde deveriam marcar a opção Maria Grimaldi referindo-se ao precursor dos estudos sobre difração da luz

Identificando os pontos tracejados na foto do experimento realizado em sala por eles mesmos referente a interferências construtiva e destrutiva, questão 9, 12 conseguiu marcar a questão correspondente, enquanto 6 confundiram referindo-se a espessura do fio de cabelo.

A décima questão reproduzindo o cálculo da espessura do fio de cabelo, 11 souberam aplicar os conhecimentos matemáticos, enquanto 6 não souberam definir.

Abaixo mostra-se uma tabela com as relações entre questões, erros e acertos obtidos na turma 304. O resumo dos resultados mencionados podem ser encontrados na Tabela 4

Tabela 4 Erros e Acertos da turma 304

T 304		
Questões	Acertos	Erros
Questão 1	18	0
Questão 2	6	12
Questão 3	14	4
Questão 4	12	6
Questão 5	10	8
Questão 6	18	0
Questão 7	6	12
Questão 8	0	18
Questão 9	12	6
Questão 10	12	6
Total	108	72

5.7.2 Análise das respostas da turma 305

Nesse teste 29 alunos compareceram para responder ao questionário. A primeira pergunta, objetiva, referia-se ao experimento de Thomas Young e sua dupla fenda. O aluno teria que relacionar o fenômeno com a definição do conceito da difração da luz. Dos 29 entrevistados, 17 marcaram a opção correta e 12 erraram a questão.

A segunda questão referia-se às condições de obtenção da difração da luz quanto ao tamanho da fenda. O aluno teria que relacionar a difração da luz e a difração do som, embora sendo de comprimentos de ondas diferentes, a difração acontece e 17 alunos souberam definir o fenômeno correspondente. Enquanto 12 marcaram outras opções.

Na pergunta objetiva de número três havia 4 fenômenos relacionados à difração e um não correspondente. O aluno teria que marcar e identificar o fenômeno não correspondente a difração sendo que 15 demonstraram entendimento sobre os fenômenos expostos e 14 estiveram confusos.

Na quarta questão o aluno deveria enumerar e identificar as figuras que ilustravam ondas em fase e defasadas. 7 alunos enumeraram e identificaram corretamente a fase e defasagem. 5 não souberam definir. 1 não soube opinar e 16 ficaram em meios termos identificaram apenas 3 ondas em fase e defasadas.

A quinta questão o aluno deveria observar o desenho de uma fenda com duas ondas propagando-se até um anteparo. Uma onda iniciando na parte superior da fenda e outra partindo da parte inferior e explicar se no ponto de intersecção das ondas, anteparo, estaria ocorrendo uma interferência construtiva ou destrutiva. Nesta questão, 10 alunos responderam corretamente, 6 descreveram respostas não condizentes e 13 não souberam responder.

Ao serem entrevistados a que pontos escuros ou claros corresponderiam as interferências construtivas e destrutivas, na sexta questão, 27 responderam corretamente e somente 2 alunos marcaram resposta incoerente.

Na sétima questão o aluno deveria relacionar o fenômeno da luz branca refletida em um CD com uma rede de difração, 15 marcaram resposta correta e 14 marcaram respostas erradas.

Oitava questão: ao serem questionados sobre quem seria o precursor dos estudos sobre difração da luz, 28 alunos erraram a questão e somente um sabia a resposta correta.

A nona questão exibiu uma foto de difração obtida em experimento em sala de aula e pedia-se que marcassem a questão correspondente à significância dos pontos tracejados 13 alunos não souberam opinar e 16 responderam corretamente.

Na utilização de princípios geométricos para determinação da espessura de um fio de cabelo somente 6 dominaram os cálculos matemáticos. Os outros 23 não souberam manejar.

Novamente construiu-se uma Tabela com os erros e acertos obtidos na turma 305 (Tabela 5).

Tabela 5 Erros e Acertos da turma 305

T 305		
Questões	Acertos	Erros
Questão 1	17	12
Questão 2	17	12
Questão 3	15	14
Questão 4	7	22
Questão 5	10	19
Questão 6	27	2
Questão 7	15	14
Questão 8	1	28
Questão 9	16	13
Questão 10	6	23
Total	131	159

5.8 Aceitação da sequência didática

Para avaliar a metodologia de ensino proposta foi elaborado um questionário disposto no Apêndice III com 5 (cinco) questões e aplicado nas duas turmas.

5.8.1 Respostas obtidas na entrevista de aceitação da sequência didática

5.8.1.1 Turma 304

Na primeira pergunta sobre aceitação da Sequência Didática 24 alunos correspondendo a um percentual de 83% gostaram da forma diferente de abordagem de conteúdos e somente 2 alunos (7%) não gostaram e 3 (10%) ficaram indecisos.

Na segunda questão 26 alunos (90%) concordaram com a metodologia, enquanto 2 (7%) não souberam opinar e 1 aluno (3,5%) discordou da metodologia.

Nos trabalhos em grupos 25 alunos (86,5%) acharam que trabalhando em grupo facilitou a aprendizagem. 3 Alunos ficaram indecisos (10%) e somente um (3,5%) não gostou de trabalhar em grupo.

Em qual parte da sequência acharam mais interessante, 24 alunos (83%) preferiram os experimentos enquanto 2 alunos (7%) gostaram de tudo, outros 2 (7%) ficaram indecisos e 1 (3,5%) gostou dos questionários.

As opiniões obtidas sobre a Sequência Didática foram diversas e somente 15 alunos teceram comentários que poderão ser vistos na conclusão desse trabalho.

Então, analisando as respostas obtidas na turma 304, montou-se o Quadro 1, em que é possível perceber que a forma de abordagem, a metodologia e trabalhar em grupo obtiveram grande aceitação enquanto que pela forma de trabalho a maioria preferiu experimentos

Quadro 1 - Respostas da T 304 em relação a aceitação da Sequência Didática

Aceitação 304	Sim	Não	Não sei
Abordagem de conteúdo de forma diferente.	24	2	1
Metodologia	26	1	
Trabalhar em grupo	25	1	1
A) o mapa conceitual			
B) os questionários	1		
C) os experimentos	24		

D) produção de cartazes			
E) produção de vídeo			
F) tudo	1		
G) não sei opinar	1		
Opinião pessoal	<p>1 – “É importante porque nos ajuda a conhecer e aprender um pouco mais sobre a física”.</p> <p>2 – “Os trabalhos apresentados foram de suma importância para melhor absorver sobre o assunto passando principalmente pelos experimentos realizados”. [sic]</p> <p>3 – “Um assunto bastante complexo pois demanda concentração poderíamos ter experimentos e testes para melhorar os desenvolvimentos dos alunos.” [sic]</p> <p>4 – “Possomos dizer que a difração é o fenômeno que acontece quando uma onda encontra um obstáculo, o fenômeno da difração é descrito como uma aparente flexão das ondas em volta de pequenos obstáculos e também como o espalhamento, ou alargamento,</p>		

	<p>das ondas após atravessar orifício ou fendas. [sic]</p> <p>5 – “Foram muitos assuntos a respeito de difração, mas faltou abordar mais o assunto, ou seja, aprofundar mais. [sic]</p> <p>6 – “Foi muito bom, pois aprendemos bastante, principalmente na parte dos experimentos.” [sic]</p> <p>7 – “Os experimentos foram bons, faltou mais explicação.” [sic]</p> <p>8 – “Tudo que aprendemos com experiencias, aulas etc. foi fundamental para sabermos mais sobre a física. [sic]</p> <p>9 – “Gostei, devia ter mais trabalhos com mais experimentos, pois com o desenvolvimento de mais trabalhos os alunos tendem a melhorar o aprendizado. [sic]</p> <p>10 – “Essa sequencia de questionário facilitou o relacionamento de opiniões e o conhecimento do professor sobre a dificuldade dos alunos. [sic]</p> <p>11 – “Porque faz com que nos permite conhecer melhor os efeitos da difração. [sic]</p> <p>12 – “É importante conhecer mais o assunto de formas diferentes,</p>
--	---

	<p>como: Vídeos, Experimentos e Questionários,</p> <p>13 – “Achei muito importante, pois aprendemos de uma forma mais prática e divertida. Aprendemos na prática gostei muito.” [sic]</p> <p>14 – “Os trabalhos em grupo são muito importante para a aprendizagem de todos, mas quando não a organização e dedicação, fica uma coisa muito vaste, sem explicação e todos da sala perdem com isso. [sic]</p> <p>15 – “Os trabalhos devem ser melhor estudados para apresentação. [sic]</p>
--	---

5.8.1.2 Turma 305

Na primeira pergunta sobre aceitação da Sequência Didática 18 alunos (100%) marcaram a letra **a**, ou seja, todos gostaram.

Na segunda questão todos 18 alunos (100%) marcaram a letra **a**, ou seja, todos gostaram da metodologia,

Na questão sobre trabalhar em grupos todos entrevistados, 18 alunos (100%), marcaram a letra **a** indicando que todos gostaram de trabalhar em grupo.

Em qual parte da Sequência acharam mais interessante, 17 alunos (94%) gostaram de produzir experimentos e só um aluno preferiu a produção de cartazes.

Dos 18 entrevistados sobre as opiniões obtidas sobre a Sequência didática somente 5 alunos teceram comentários que são reproduzidos no capítulo da conclusão.

Assim, as respostas obtidas na turma 305, montou-se o Quadro 2, na qual se observa a forma de abordagem, a metodologia e trabalhar em grupo obtiveram aceitação total enquanto que pela forma de trabalho a maioria prefere os experimentos e somente 1 prefere trabalhar com cartazes

Quadro 2 - Respostas da T 305 em relação a aceitação da Sequência Didática

Aceitação 305	sim	não	não sei
Forma diferente de abordagem do conteúdo	18		
Metodologia	18		
Trabalhar em grupo	18		
A) o mapa conceitual			
B) os questionários			
C) os experimentos	17		
D) produção de cartazes	1		
E) produção de vídeo			
F) tudo			
G) não sei opinar			
Opinião pessoal	1 – “Os experimentos são bastante eficazes para o melhor entendimento de determinado assunto, pois desperta a imaginação e em principal fixa a curiosidade que		

	<p>consequentemente eleva o interesse.” [sic]</p> <p>2 – “Eu achei muito interessante os experimentos, muito boa as ideias, aprendi muito com o experimento que eu fiz.” [sic]</p> <p>3 – “O experimento de difração só trouxe conhecimento aos alunos como também pode motivá-los a obter mais conhecimento do mesmo modo, porém com novos assuntos.” [sic]</p> <p>4 – “Se botamos um fio de cabelo em um leiser irá ter vários pontos.” [sic]</p> <p>5 – “Gostei bastante desse assunto fizemos até um experimento eu e a minha equipe. Com o fio de cabelo que ao invés de aparecer só um pontinho, apareceram vários. [sic]</p>
--	---

As respostas acima evidenciadas indicam que a sequência obteve sucesso. Qualitativamente a aceitação significativa como se nota pelas respostas tabeladas,

As opiniões (questão 5) da turma 305 foram todas favoráveis à continuidade da Sequência Didática já as opiniões da turma 304 dez delas foram favoráveis e 5 exigem uma melhoria, por Exemplo

a resposta 3 deve estar referindo-se às outras aulas de Física, pois durante esta sequência houve experimentos.

A resposta 5 deve tratar-se de aluno com bom conhecimento.

A resposta 7 trata de um aluno criticando outro (rivalidade)

A resposta 14 critica outro grupo

Resposta 15 grupo critica grupo

Estamos em transição nos paradigmas curriculares de ensino médio e uma vez que esta proposta de trabalho tenha obtido relevância qualitativa ela continua validada pois vai de encontro aos principais objetivos da Base Nacional Curricular Comum - BNCC onde o aluno deve sentir se atraído pela metodologia de ensino, bastante notável nos resultados qualitativos deste trabalho elevando a exigência da sua continuidade.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho estudamos difração da luz através de uma metodologia que não seja usualmente baseada em transmissão de saberes isolados sem conexão com a realidade discente, e descrevemos certos aspectos do dia a dia escolar na disciplina Física. Baseado nestas observações construímos uma Sequência Didática fundamentada nas teorias de Aprendizagem Significativa de David Ausubel e Aprendizagem Significativa Crítica de Marcos Moreira.

Os resultados obtidos a partir dos questionários aplicados mostram que nossa proposta teve aceitação significativa pelos alunos, pois 83% da turma 304 e 100% da turma 305 a aprovaram. Ressalto que os alunos tiveram autonomia para escolher a forma que queriam trabalhar e com qual grupo se identificariam, dentre os quatro grupos e quatro formas de trabalhos oferecidas como opção. Esta ação reforça a motivação do aluno na busca pela aprendizagem e deixa claro seu papel central nesse processo.

Outro ponto relevante observado em nossa proposta foi sua aceitação, visto que, 90% da turma 304 e 100% da turma 305 aprovaram nossa prática pedagógica diferenciada para eles. De acordo com Perrenoud (1995, p.28, apud Teodoro, p.4) diferenciar o ensino é: “organizar as interações e atividades de modo que cada aluno se defronte constantemente com situações didáticas que lhe sejam as mais fecundas”

Pelas respostas obtidas na pesquisa de aceitação é notório que nas duas turmas a opção pelos experimentos tem estimada preferência. Pois, permitiu ao aluno ser protagonista do seu conhecimento, o que acontece quando se verifica o relato de alguns alunos, como :- “Gostei bastante desse assunto fizemos até um experimento eu e a minha equipe. Com o fio de cabelo que ao invés de aparecer só um pontinho, apareceram vários. [sic] e outro: “O experimento de difração só trouxe conhecimento aos alunos como também pode motivá-los a obter mais conhecimento do mesmo modo, porém com novos assuntos.” [sic] podemos verificar que o aluno não só constrói seu conhecimento como já transcende para outros assuntos, o que permeia a perspectiva de aprendizagem de Antonio Moreira. Além disso, quando o próprio aluno monta o experimento está **aprendendo a fazer** segundo a síntese dos quatro pilares do conhecimento. Segundo Delors citado por Rodrigues ao afirmar que estamos em

transição nos paradigmas curriculares de ensino médio e uma vez que esta proposta de trabalho tenha obtido relevância qualitativa, ela continua validada, pois vai de encontro aos principais objetivos da Base Nacional Curricular Comum – BNCC, onde o aluno deve sentir se atraído pela metodologia de ensino, bastante notável nos resultados qualitativos deste trabalho elevando a exigência da sua continuidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, Leandro S. **Facilitar a aprendizagem: ajudar aos alunos a aprender e a pensar**. Psicologia Escolar e Educacional, Campinas-SP, vol 6, nº 2, dezembro, 2002. Disponível em: < https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-85572002000200006&script=sci_arttext&tlng=pt>. Acesso em 23 de jun. 2020
- ALMEIDA, J. N. **Espectrofotômetro na web**. [S,I][2012?]. Disponível em: <<http://era-weblab.blogspot.com/2012/03/componentes-de-um-espectrofotometro.html>>. Acesso em: 25 de out. 2018.
- ASSIS, M. **Difração de ondas**. 10 slides. [S,I]. [2016?] Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/disciplina/oficina-do-ensino-de-fisica?ordem=1>>. Acesso em: 29 de jul. 2018.
- AUSUBEL. D. P. **Aquisição e retenção de conhecimento: uma perspectiva cognitiva**. Lisboa: Platanos, Edições Técnicas, 2001, capítulo 1, p.17. [S,I]. Disponível em: <http://www.uel.br/pos/ecb/pages/arquivos/Ausubel_2000_Aquisicao%20e%20retencao%20de%20conhecimentos.pdf>. Acesso em: 12 de out. de 2018
- BRASIL. **Lei Nº 9394 de 20 de Dezembro de 1986**. [S,I][2016?]. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/lei9394_ldbn1.pdf>. Acesso em: 30 de jul. 2018.
- BRITO, S. **Comportamentalistas e o ensino de Física**. 2 de nov. 2014. [S,I]. Disponível em: <<http://samameira.blogspot.com/2014/11/comportamentalistas-e-o-ensino-de-fisica.html>>. Acesso em: 03 de Jul. 2018.
- CAVALCANTE, M.A.; TAVOLARO, C. R. C. Uma Oficina de Física Moderna que Vise a sua Inserção no Ensino Médio. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 18, n. 3, p. 372-389. dez. 2001. São Carlos. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/download/10027/9274>>. Acesso em: 31 de jul. 2018.
- COSTA, A. **A Importância da Aprendizagem Significativa na Formação Profissional**. [S,I][2016?]. Disponível em: <<https://www.rhportal.com.br/artigos-rh/a-importancia-da-aprendizagem-significativa-na-formao-profissional/>>. Acesso em: 23 de set. 2018.
- DEMO, P. **Educar pela pesquisa**. 8. ed. Campinas: Autores Associados, 2009. [S,I].
- DIFRAÇÃO DA LUZ POR FENDAS. **Laboratório de Ensino de Óptica**. [S,I][2015?] Disponível em: <<https://sites.ifi.unicamp.br/laboptica/roteiros-do-laboratorio/3-difracao-de-fendas/>>. Acesso em: 24 de out. 2018.

DIFRAÇÃO. [S,I][2010?].Disponível em:
<https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2082003/mod_resource/content/1/interferencia_difracao.pdf>. Acesso em: 01 de set. 2018.

EINSTEIN,A E INFELD. "**A Evolução da Física**". [S,I][2015?]. Disponível em:
<<https://pt.slideshare.net/rdeastro/einstein-infeld-a-evolucao-da-fisica>>. Acesso em 21 de nov. de 2018

Como o trabalho em grupo impacta na aprendizagem em sala de aula. escola web, [S,I][2019?].Disponível em:< <https://escolaweb.com.br/blog/trabalho-em-grupo-impacta-aprendizagem/> >. Acesso em 23 de jun. 2020

FIALHO, N. N.; ROSENAU, L. S. **Didática e avaliação da aprendizagem em química**. Curitiba: Intersaberes, 2009, 151p.

GALLO, H.; MENDES, J.; TERUO, M.; BELIZÁRIO, R. **Propostas e Projetos para o Ensino de Física**. [S,I][2018?].Disponível em:
<https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/127400/mod_resource/content/0/1sem_harvard_unesco_henrique_jairo_marcos_ronaldo.pdf>. Acesso em: 03 de jul. 2018.

GRASSELLI, E. C.; GARDELI, D. **O ensino da física pela experimentação no ensino médio - Seed - PR**. [S,I][2014].Disponível em:
<http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernos/pdebusca/producoes_pde/2014/2014_uem_fis_artigo_erasmo_carlos_grasselli.pdf>. Acesso em: 22 de out. 2018.

Haliday, Resnick, Walker. **Fundamentos de Física 4**. Rio de Janeiro : LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2016.

HALIDAY, R. W.**Fundamentos de Física 4**. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

INTERFERENCIA: **Física geral iv**. 10 out. 2018. 48 slides. [S,I]. Disponível em:
<<http://midia.cmais.com.br/assets/file/original/586f0d64316ab73bf400c9419bc2f90f43a82dc0.pdf>>. Acesso em: 10 de out. 2018.

LIMA, D. **Estude sem Sair de Casa**. [S,I][2018?].Disponível em:
<<http://estudeadistancia.professordanilo.com/?tag=rede-de-difracao>>. Acesso em: 25 de out. 2018.

MACHADO, J.V.H.**Física: bonjorno**. [S,I][2011?].Disponível em:
<<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAfJbMAD/fisicfa-bonjorno>>. Acesso em: 01 de out. 2018.

Machado, João Vitor Hayashi. "**Física - BONJORNHO - Exercícios de Física envolvendo Energia ...**" *EBAH*. 2016. [S,I].Disponível em:

<<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAfJbMAD/fisicfa-bonjorno>> (acesso em 01 de Outubro de 2018).

MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**. Instituto de física da UFRGS, Rio Grande do Sul. [2015?] Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/mapasport.pdf>>. Acesso em: 23 de out. 2018.

MOREIRA, Marco Antonio. Aprendizagem Significativa Crítica. Publicada também em Indivisa, **Boletín de Estudios e Investigación**, nº 6, pp. 83-101, 2005, com o título Aprendizaje Significativo Crítico. 1ª edição, em formato de livro, 2005; 2ª edição 2010. ISBN 85-904420-7-1. [S,I]. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsigcritport.pdf>>. Acesso em: 18 de set. 2018

_____. Aprendizagem Significativa: da visão clássica à visão crítica. **Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa**, v. 1, n. V, p. 1–15, 2006.
MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa crítica. **III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa**, n. 3, p. 33–45, 2010.

OGASAWARA, J. S. V. **O Conceito de Aprendizagem de Skinner e Vygostky: um diálogo possível**. Salvador: UNEB, 2008. Disponível em: <<http://www.uneb.br/salvador/dedc/files/2011/05/Monografia-Jenifer-Satie-Vaz-Ogasawara.pdf>>. Acesso em: 02 de jul. 2018.

PANZINI, D. N. A.; ARAUJO, F. V. **O uso do vídeo como ferramenta de apoio ao ensino-aprendizagem**. [S,I][2016?]. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/729/Pazzini_Darlin_Nalu_Avila.pdf?sequence=1>. Acesso em: 21 de out. 2018.

PELIZZARI, A. et al. Teoria da aprendizagem significativa segundo Ausubel. **Revista PEC**, v.2, n.1, p.37-42, jul. 2001-jul. 2002. [S,I]. Disponível em: <<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/materiais/0000012381.pdf>>. Acesso em: 25 de set. 2018.

SÁ, M. A. de. **As teorias educacionais e suas contribuições para a prática pedagógica na atualidade brasileira**. 20 de setembro de 2010. [S,I]. Disponível em: <<https://www.webartigos.com/artigos/as-teorias-educacionais-e-suas-contribuicoes-para-a-pratica-pedagogica-na-atualidade-brasileira/47704>>. Acesso em: 27 de jun. 2018.

SÁ, R. **Concepção pedagógica tradicional**. 22 de fev. 2014. [S,I]. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/pedagogia/concepcao-pedagogica-tradicional/>>. Acesso em: 30 de Jun de 2018.

SCARINCI, A.; MURAMATSU, M. **Difração**. [S,I][2014?]. Disponível em: <<https://edisciplinas.usp.br/mod/resource/view.php?id=1072286>>. Acesso em: 18 de set. 2018

SILVA, S. de C. R. da; SCHIRLO, A. C. Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel: Reflexões Para o Ensino de Física Ante a Nova Realidade Social. **Imagens da Educação**, v. 4, n. 1, p. 36-42, 2014.

SULEE. **Supervisão de Estatísticas Educacionais**. Centro de Ensino Cidade de São Luis. [S,I][2016?]. Disponível em: <http://sistemas.educacao.ma.gov.br:8080/estatistica/escolas/escolas.php?cod_inep=21021910&ano=2016>. Acesso em: 28 de jul. 2018.

TEODORO, Nilce Mara. **Metodologia de ensino: Uma contribuição pedagógica para o processo de aprendizagem da diferenciação**. Metodologia de ensino - Secretaria da Educação. [S,I][2014?]. Disponível em : < <http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/pde/arquivos/2234-8.pdf>> Acesso em 23 de jun. 2020

TERRAZZAN, E. A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau. **Cad. Cat. Ens. Fís.**, v.9, n.3: p.209-214, dez.1992. [S,I]. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/viewFile/7392/6785>>. Acesso em: 31 de jul. 2018.

UFABC. **FTEaD**. [S,I][2015?]. Disponível em: <<http://proec.ufabc.edu.br/uab/index.php/roteiros/roteiro4/19-fteadinicio/fteadaulas/126-aula4>>. Acesso em: 29 de jun. 2018.

WIKIPÉDIA. **David Ausubel**. 24 de nov. 2017. [S,I]. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/David_Ausubel>. Acesso em: 25 de out. 2018.

WIKIPÉDIA. **Contribuidores de David Ausubel**. 24 de nov.2017. [S,I]. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=David_Ausubel&oldid=50576368>. Acesso em: 1 de out 2018.

<https://pt.wikipedia.org/wiki/David_Ausubel>. Acesso em: 25 de out. 2018.

WIKIPÉDIA. **Contribuidores de David Ausubel**. 24 de nov.2017. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=David_Ausubel&oldid=50576368>. Acesso em: 1 de out 2018.

Apêndice I - Questionário sobre concepções de ondulatória

Questionário sobre concepções de ondulatória para o terceiro ano do ensino médio

Professor: Jose Alvino

Nome:

1. Tente definir uma onda descrevendo-a ou fazendo uma representação gráfica (um desenho).
2. Você conhece quais tipos ondas?
3. Como se produz uma onda?
4. Você já ouviu falar em movimento oscilatório ou movimento periódico? Se sim, tente explicar o que é e cite exemplo(s).
4. Você já ouviu falar em movimento oscilatório ou movimento periódico? Se sim, tente explicar o que é e cite exemplo(s).
5. O que é frequência na sua concepção? Explique
6. Você já ouviu falar em ressonância? Se sim, tente explicar o que significa, com suas palavras
7. Você tem conhecimentos sobre interferência de ondas? Explique
8. Já viste alguma figura de interferência de ondas na água? Explique
9. Conhece as relações entre seno, cosseno, catetos e hipotenusa? Explique
10. Por que você consegue ouvir uma pessoa do outro lado do muro, mas não a vê?

Apêndice II - Questionário sobre conhecimentos adquiridos

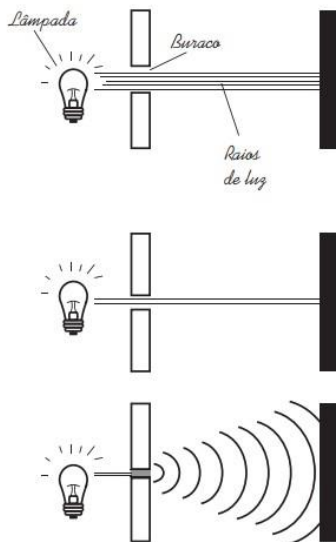
Centro de Ensino Cidade de São Luis

Questões sobre Difração

1 - Thomas Young (1773-1829) fez a luz de uma fonte passar por duas fendas paralelas antes de atingir um obstáculo e observou no anteparo o surgimento de regiões claras e escuras. Marque a alternativa verdadeira a respeito desse fenômeno:

- a) Trata-se do fenômeno da refração, em que a luz tem condição de passar por obstáculos.
- b) Trata-se do fenômeno da difração, que ocorre somente com ondas mecânicas.
- c) Trata-se do fenômeno da difração, em que, após a passagem por pequenos obstáculos, as ondas tendem a contorná-lo.
- d) Trata-se do fenômeno da polarização, em que, após a passagem por pequenos obstáculos, as ondas tendem a contorná-lo.
- e) Trata-se do fenômeno da difração, em que, após a passagem por pequenos obstáculos, as ondas mecânicas tendem a contorná-lo.

2 - Ao diminuir o tamanho de um orifício atravessado por um feixe de luz, passa menos luz por intervalo de tempo, e próximo da situação de completo fechamento do orifício, verifica-se que a luz apresenta um comportamento como o ilustrado nas figuras. Sabe-se que o som, dentro de suas particularidades, também pode se comportar dessa forma.



FIOLHAIS, C. Física divertida. Brasília: UnB, 2000 (adaptado).

Em qual das situações a seguir está representado o fenômeno descrito no texto?

- a) Ao se esconder atrás de um muro, um menino ouve a conversa de seus colegas.
- b) Ao gritar diante de um desfiladeiro, uma pessoa ouve a repetição do seu próprio grito.
- c) Ao encostar o ouvido no chão, um homem percebe o som de uma locomotiva antes de ouvi-lo pelo ar.
- d) Ao ouvir uma ambulância se aproximando, uma pessoa percebe o som mais agudo do que quando aquela se afasta.

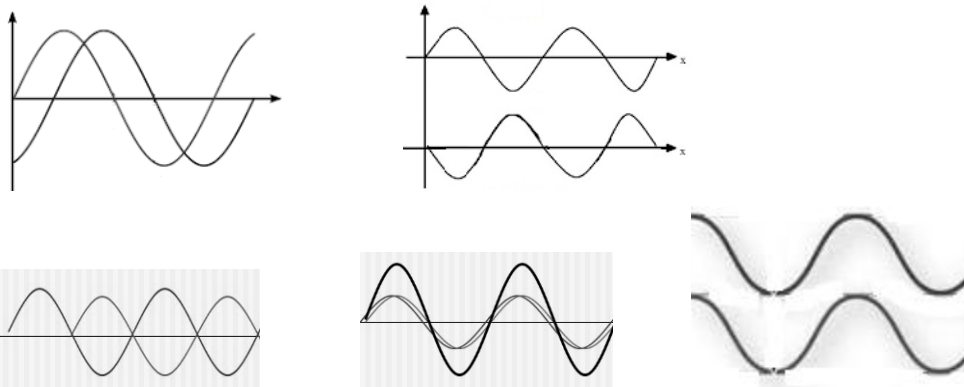
e) Ao emitir uma nota musical muito aguda, uma cantora de ópera faz com que uma taça de cristal se despedace.

3 – A respeito da difração, assinale a opção **falsa**:

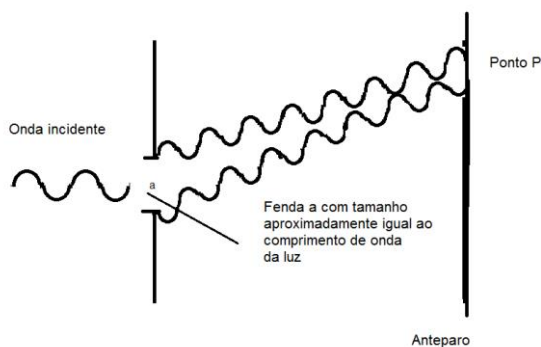
- a) O som se difrata mais do que a luz, porque o seu comprimento de onda é maior.
- b) Os sons graves se difratam mais do que os sons agudos.
- c) A luz vermelha se difrata mais do que a violeta.
- d) Para haver difração em um orifício ou fenda, o comprimento de onda deve ser maior ou da ordem de grandeza das dimensões do orifício ou fenda.
- e) Apenas as ondas longitudinais se difratam.

4 - Enumere as figuras e descreva:

- a) Quais estão em fase
- b) Quais estão defasadas (fora de fase)



5 – Observe a figura de interferência de ondas e descreva se no ponto p está ocorrendo uma interferência destrutiva ou construtiva.



6 – As interferências construtivas e destrutivas correspondem a pontos respectivamente:

- a) Escuro e claro
- b) Claro e escuro
- c) Azuis
- d) verdes
- e) Nda
- d)

7 - Um CD (*Compact Disc*) ao receber luz visível, mostra o espectro de cores contida na luz. Isto ocorre porque o CD se comporta como:

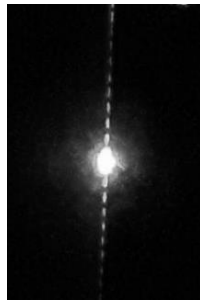
- a) rede de difração
 b) placa polarizada
 c) prisma refrator
 d) lente refletora
 e) nda

8 – Qual foi o precursor dos estudos sobre difração da luz?

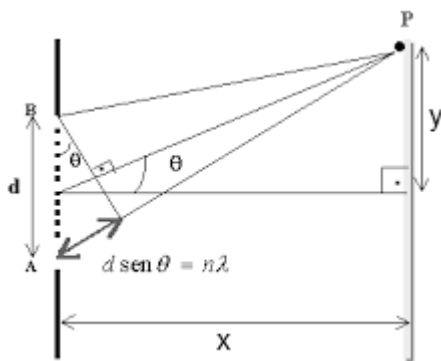
- a) Newton b) Thomas Young c) Huygens d) Francesco Grimaldi e) Nda

9 – Na foto da difração do fio de cabelo demonstrada por um aluno, temos um ponto central luminoso e pontos tracejados significando:

- a) Pontos de interferência construtiva e destrutiva
 b) Pontos de luz laser
 c) Reflexos do fio de cabelo
 d) Espessura do laser sobre o fio de cabelo
 e) Nda



10 – Na figura determine a espessura do fio de cabelo iluminado com luz verde de comprimento de onda $\lambda = 500\text{nm}$, ou seja, $5 \times 10^{-5}\text{ cm}$



d = espessura do fio de cabelo; y = distância entre o centro luminoso e o primeiro ponto escuro ($0,01\text{m} = 1\text{cm}$) (obs: isto faz com que $n=1$); x = distância entre o fio de cabelo e a parede ($1\text{m} = 100\text{cm}$).

Use $\rightarrow d = \frac{\lambda x}{y}$ (como demonstrado na aula sobre difração da luz)

Apêndice III - Questionário de aceitação da Sequência Didática

1 – Realização de experimentos; produção de vídeos; produção de cartazes, ou seja, uma forma diferente de abordagem do conteúdo me permitiu conhecer melhor o efeito da difração?

- A) sim
- B) não
- C) não sei

2 - Gostaria de ter mais aulas de física com essa metodologia sobre outros assuntos?

- A) sim
- B) não
- C) não sei

3- Os trabalhos em grupos facilitam a aprendizagem?

- A) sim
- B) não
- C) não sei

4 – Qual a parte da sequência achou mais interessante?

- A) o mapa conceitual
- B) os questionários
- C) os experimentos
- D) produção de cartazes
- E) produção de vídeo
- F) tudo
- G) não sei opinar

5 – Deixe sua opinião a respeito da sequência didática sobre difração

Apêndice IV – Sequência didática

SEQUÊNCIA DIDÁTICA

PROFESSOR: JOSÉ ALVINO SOUSA FERREIRA

Disciplina: Física

Período: 29/04/19 a 09/05/2019

Números de sequências: 05 Encontros

Tema gerador: DIFRAÇÃO/INTERFERÊNCIA

Subtema: OPTICA

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Conceitual (saber)

- ❖ Identificar as características da Difração da Luz.
- ❖ Reconhecer a Difração em um fenômeno.

Procedimental (saber fazer)

- ❖ Produzir experimentos com materiais alternativos que demonstrem o efeito da Difração da Luz.

Atitudinal (saber ser)

- ❖ Pesquisar os vários fenômenos que envolvam a Difração da Luz.

ESTRUTURA DA AULA

1ª Parte

O/a professor/a iniciará sua aula aplicando um teste para verificar se os alunos possuem a estrutura cognitiva que lhes permita a compreensão da Difração.

2ª parte

Em seguida constrói um mapa conceitual relativo aos conhecimentos e conceitos da óptica: tal como a natureza da luz, ondas, período, frequência e comprimento de onda da luz,

3ª parte

O docente iniciará via exposição de conteúdos dialogando sobre a Difração no cotidiano do aluno relatando exemplos das ondas no mar, ondas sonoras e ondas da luz. Em seguida o/a professor/a falará sobre os conceitos de Difração e a influência do comprimento da onda sobre o efeito da Difração. Explicará também que a Interferência é fundamental no efeito da Difração, Difração por Fenda Simples, contornando um obstáculo, por Fenda Dupla, as Redes de Difração e fundamentos matemáticos.

4ª parte

Após receberem os roteiros, os grupos apresentarão seus conhecimentos adquiridos na forma de experimentos e produções.

5ª parte

Os alunos responderão a um questionário de aceitação da Sequência Didática

ESTRATÉGIAS DE AVALIAÇÃO

Conceitual

O docente irá fazer um questionário com perguntas abertas e fechadas para verificar se os alunos entenderam os conceitos da aula

Procedimental

Os alunos construirão vários experimentos sobre difração com material alternativo, além de relatório sobre a construção do experimento realizado

Atitudinal

Os alunos divididos em grupos deverão fazer várias pesquisas sobre a difração (redes de difração; aspectos da produção de vídeo; informações sobre estudiosos da difração; difração em um obstáculo) trazer na aula seguinte para dialogar sobre o seu trabalho a ser produzido.

MATERIAL NECESSÁRIO

GRUPO 1: Confeção do experimento difração sobre um fio de cabelo
caixa de papelão, Laser, fio de cabelo, cola, estilete e mesa.

GRUPO 2: Experimento sobre redes de difração

Laser, CD, caixa de papel, suporte e régua

GRUPO 3: Produção de vídeo

celular; caixa de papelão, Laser, fio de cabelo, cola, estilete e mesa.

GRUPO 4: Produção de cartazes

Cartolina, revista ou livros e ainda internet, lápis, lapiseira, tesoura, cola.

Apêndice V – Resumo do material e custos

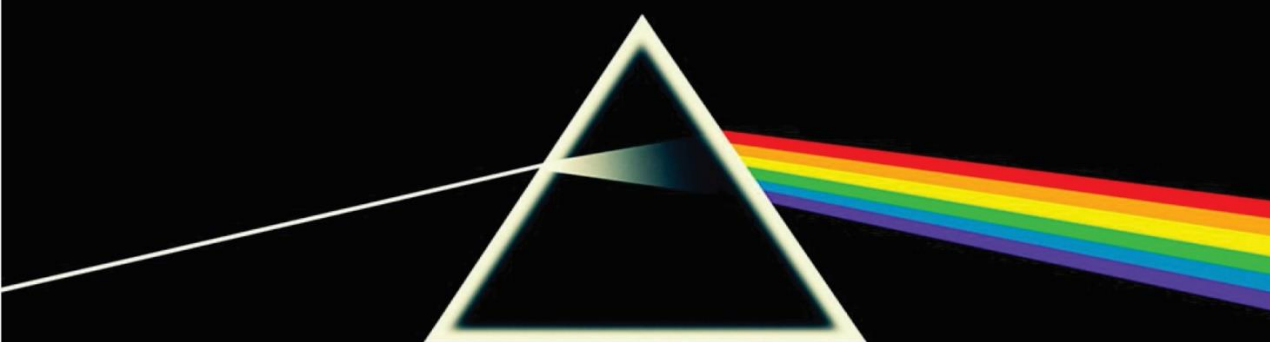
MATERIAL	QUANTIDADE	UNIDADE	TOTAL
Caixas de papelão (para calçados)	2	0	0
Laser	3	5,00	15,00
Fio de cabelo	1	0	0
Cola	3	2,00	6,00
Estilete	1	8,00	8,00
Mesa	4	0	0
CD	1	0	0
Suporte	1	15,00	15,00
Régua	1	2,00	2,00
Celular	1	0	0
Cartolina	2	1,00	2,00
lápiz	1	0	0
lapiseira	1	0	0
tesoura			
TOTAL		48,00	

Apêndice VI – Produto educacional

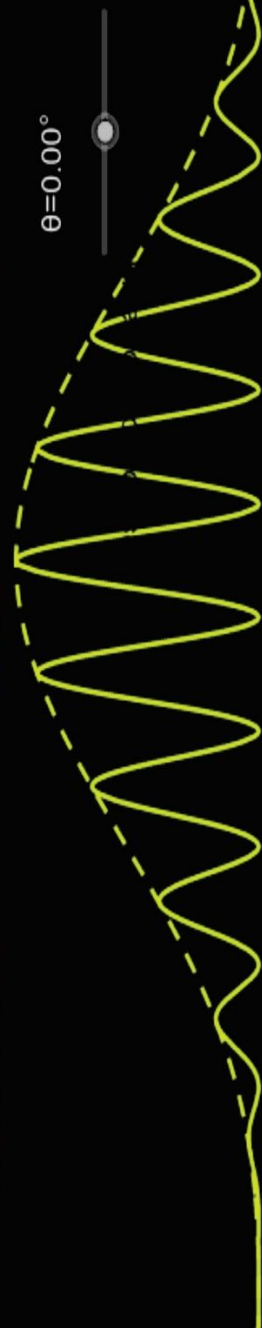
Sequência didática aplicada ao Ensino Médio

Para estudo da difração da luz

Utilizando materiais alternativos



$\theta = 0.00^\circ$



JOSE ALVINO SOUSA FERREIRA

EDER NASCIMENTO SILVA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA POLO 47

**SEQUÊNCIA DIDÁTICA APLICADA AO ENSINO MÉDIO PARA ESTUDO DA
DIFRAÇÃO DA LUZ UTILIZANDO MATERIAIS ALTERNATIVOS**

JOSÉ ALVINO SOUSA FERREIRA

Material vinculado à Dissertação de mestrado apresentada ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Eder Nascimento Silva

SÃO LUIS - MA
2020

© José Alvino Sousa Ferreira e Eder Nascimento Silva – 2020.
O cronograma apresentando do material neste documento pode ser reproduzido livremente desde que citada a fonte. As imagens apresentadas são de propriedade dos respectivos autores e utilizadas para fins didáticos. Por favor, contate os autores caso constate que houve violação de seus direitos autorais. Este documento é veiculado gratuitamente, sem nenhum tipo de retorno comercial a nenhum dos autores, e visa apenas a divulgação do conhecimento científico e das alternativas de ensino e aprendizagem.

Apresentação

A educação básica deve preparar os alunos para o exercício da cidadania proporcionando competências e habilidades através de uma aprendizagem significativa, para que o aluno desenvolva atitudes de valor na sociedade. Embora pareça satisfatório esse contexto ideal para o ensino-aprendizagem, na realidade de muitas escolas ainda prevalece o tradicionalismo, onde há o repasse de informações oriundas do livro didático e que conta com aula expositiva, exercícios e provas, sem uma contextualização, ou seja o relacionamento deste conteúdo com a realidade do aluno, resultando em informações retidas somente para a execução de provas e que são descartadas e esquecidas logo após o uso por não ter significância.

Este trabalho baseia se nos conhecimentos prévios existentes no(s) aluno(s), ou seja, princípios da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, e Aprendizagem significativa Crítica por Marco Antonio Moreira a qual nos diz que a partir do aprendizado o aluno deve empregar o conhecimento adquirido nas questões do dia a dia.

A partir de conhecimento prévio existente que formam os Subsunoçores constrói-se novos conhecimentos bem mais complexos sendo que é necessário despertar a curiosidade do aluno em descobrir os efeitos difrativos das ondas do espectro luminoso utilizando material descrito neste trabalho que baseia-se em uma Sequência didática com o intuito de aprofundar os conceitos da difração para além da abordagem dos livros em uma forma teórica e prática inserida ao nível das terceiras séries do ensino médio.

Nesse trabalho propõe-se a aplicação de uma sequência didática baseada na teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel e Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica de Marco Antonio, proporcionando mais uma ferramenta, a ser desenvolvida num processo de negociação de significados sendo que os alunos precisam valorizar os conceitos físicos para análise, compreensão e tomada de decisões sobre futuros problemas emergentes e para isso deve se levar em conta os seus conhecimentos prévios para dar início à construção dos novos conhecimentos e

tomada de decisões futuras. Propõe-se a aplicação da Sequência Didática em quatro encontros, ou seja, quatro aulas.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	7
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	9
2.1. ELEMENTOS DE UMA ONDA	10
2.2. TRATAMENTO GEOMÉTRICO: ÓPTICA GEOMÉTRICA.....	12
2.3. TRATAMENTO ONDULATÓRIO – HUYGENS - FRESNEL	13
2.4. INTERFERÊNCIA DE ONDAS	17
2.5. DIFRAÇÃO EM FENDA ÚNICA	20
2.6. FENDA DUPLA	25
2.7. REDES DE DIFRAÇÃO	27
3. SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	29
3.1. ENCONTRO 1	33
3.2. ENCONTRO 2	34
3.3. ENCONTRO 3.....	35
3.3.1. <i>Medida da espessura de um cabelo</i>	35
3.3.2. <i>Experimento Sobre Redes de Difração</i>	38
3.3.3. <i>Produção de cartaz</i>	40
3.3.4. <i>Produção de vídeo</i>	41
3.4. ENCONTRO 4.....	42
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	47
REFERÊNCIAS.....	48

1. INTRODUÇÃO

Exercer a função de Docente de Física é um desafio havendo uma grande dificuldade no ensino-aprendizagem tanto por parte de alunos quanto dos professores. Alguns professores lecionam usando ferramental puramente matemático, desconhecendo outros métodos de repasse de conhecimentos e estão totalmente voltados ao ensino conteudista seguindo o livro texto à risca. As reclamações ocorrem por parte de alunos em relação a não compreensão dos conteúdos quanto à transmissão destes, e os docentes, (convém lembrar que não são todos), culpam a base matemática do aluno pelo não entendimento do conhecimento repassado.

De 1986, ano da LDB, até os dias atuais, a escola pública passa por uma transformação do tradicionalismo para o construtivismo, modelo atual, que considera os processos cognitivos dos alunos mas, esta transformação tem sido um processo vagaroso, pois a própria política educacional no país corrobora com atraso na implantação do modelo de ensino atualizado na escola pública, isto ocorre principalmente, quando as diretrizes tem descendência vertical e não há um investimento em formações e por isso dispõe-se de grande parte de professores na linha tradicionalista e outros na linha construtivista, caracterizando a escola pública, em uma mistura de tradicionalismo com construtivismo.

Além das reformulações nas práticas de ensino de Física houve também um tratamento diferenciado no conteúdo da grade curricular. Uma inovação percebidas é a inserção de Física Moderna no Ensino Médio que já vinha sendo cogitada há tempos desde Terrazan (TERRAZAN, 1992) a Marisa Almeida (CAVALCANTE ; TAVOLARO 2001) reforçada pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional LDB nº 9394/96 (BRASIL 1996) e Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN). A necessidade da inserção da Física Moderna no Ensino Médio deu-se principalmente a atualização do ensino em relação à tecnologia. Enquanto esta avançou, aquela estagnou.

No Estado do Maranhão, a adição de mais assuntos na grade curricular só começou a ser exigida partir do ano de 2015, quando a Secretaria de Educação do Estado do Maranhão (SEDUC) começou a levar em consideração a inserção da Física Moderna na grade curricular do ensino médio nas escolas públicas, como uma

atualização seguindo as outras escolas da Federação, pois éramos um dos poucos Estados praticando um ensino defasado, em outras palavras, lecionando física do século XIX.

Ultimamente com o advento da LDBEN, Ministério da Educação e Cultura (MEC), Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) e Base Nacional Curricular Comum (BNCC) efetiva-se também uma melhora na prática do ensino significativo, ou seja, passou-se a lecionar mais física (os fenômenos) e não só matemática pura, sendo esta, só como apoio. Quando se diz uma melhora, refere-se aos professores que não acompanharam os adventos, e continuam ainda com velhas práticas.

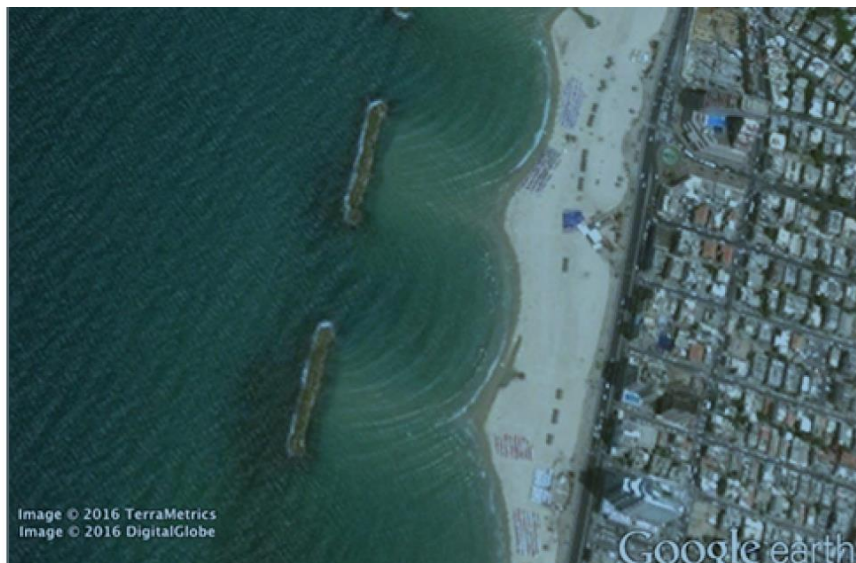
Já na abordagem prática do ensino de Física ao falar-se dos laboratórios, algumas escolas do Estado do Maranhão o possuem, outras não o tem, mas havendo a possibilidade de implantação. E, além disso, a informática, sem substituir os laboratórios, pode contribuir com simulações pois computadores permitem uma gama de aplicações na exploração dos conteúdos, mas percebe-se que nem todas as escolas possuem computadores, ou se possuem estão desativados.

Este trabalho visa propor uma sequência didática sobre o ensino de ótica, especificamente da difração da luz usando alguns experimentos de baixo custo. Esse tópico de conhecimento em física atrai muito a atenção dos alunos por conta que são fenômenos que podem ocorrer naturalmente ou induzido em laboratório. Até hoje muitos se maravilham com a presença de um arco-íris no céu em dias chuvosos. Caso se busca uma explicação para tal ocorrência, é nesse tópico que a resposta pode ser encontrada. Um fenômeno muito parecido pode ser provocado em laboratório, por exemplo, usando uma mídia de CD/DVD onde pode ser induzido a dispersão da luz e a ocorrência de algo similar ao arco-íris. Há uma formulação matemática para explicar todos esses fenômenos, mas tentaremos dar uma abordagem menos matemática e mais qualitativa, não fugindo das necessidades do uso de fórmulas quando necessário. Esse estudo pode ser usado de forma prática e simples para estimar a espessura de um fio muito fino, tal como a de um cabelo. Para isso precisamos modelar matematicamente a espessura de um cabelo com parâmetros geométricos e óticos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A interferência e difração de ondas se configura na vida cotidiana como efeitos que são percebidos e ignorados pela maioria das pessoas, ou seja, os efeitos são vistos sem o conhecimento de sua fundamentação: o porquê e como ocorre. Por exemplo, todos veem o arco íris, mas não imaginam como se origina e atribuem sua existência a algo divino. Outro fenômeno corrente é quando seu vizinho liga o som em uma alta intensidade de forma que chegue a seus ouvidos, mesmo havendo paredes separando os cômodos. Outros até já brincaram atirado pedras na superfície de um rio ou mar, como mostrado através da Figura 1, e observaram a formação de círculos concêntricos que ao colidirem com um objeto surge novas formações de círculos concêntricos, mesmo sem saber quais os efeitos estão por trás de tais formações.

Figura 1 Devido à difração das ondas, as ondas do oceano que entram através de uma abertura de em um quebra-mar podem se espalhar por toda a baía.



Fonte: modificação dos dados do mapa do Google Earth

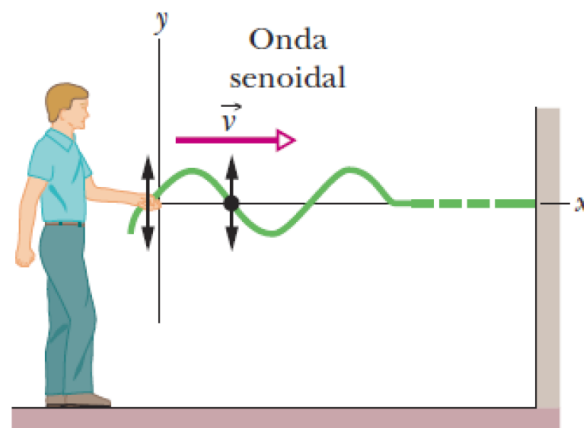
Os fenômenos ainda se explicitam quando se olha um tecido de trama fina contra uma lâmpada distante. Quando visualizamos a Lua através de uma nuvem (as gotículas de água na nuvem). Olhando o reflexo num CD vemos faixas ou halos coloridos, devido à difração da luz por pequenos obstáculos (os sulcos do CD).

A onda é uma perturbação que se move em um meio transportando energia e quantidade de movimento sem transportar matéria. Ela sofre vários efeitos, dentre eles os efeitos de interferência e difração, que são fenômenos característicos de “todas as ondas” quando elas contornam obstáculos ou atravessam fendas.

2.1. Elementos de uma onda

Considere inicialmente uma corda esticada por suas extremidades, a esse estado chamaremos de posição de equilíbrio da corda. A seguir realizamos oscilações em uma das extremidades da corda e após um tempo observamos a formação de ondas na corda, como mostrado na Figura 2. A esse padrão de ondas chamaremos de onda senoidal, devido ao seu comportamento se modular muito bem com a função trigonométrica seno.

Figura 2 Formação de uma onda numa corda.



Fonte 1 Halliday

Matematicamente as ondas ditas clássicas que oscilam no tempo (t) e se propagam ao longo de uma direção (no presente caso x) com uma velocidade v , obedecem ao que chamamos de equação diferencial de onda dada pela equação abaixo;

$$\frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial t^2} \quad (1)$$

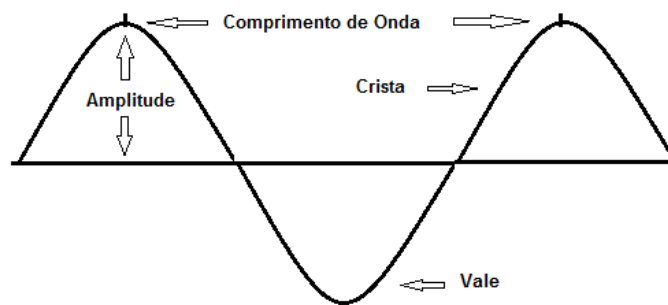
Cuja solução particular para essa equação pode ser dada por;

$$y(x, t) = y_m \sin(kx - \omega t) \quad (2)$$

onde;

- ✓ A amplitude y_m de uma onda é o módulo do deslocamento máximo sofrido pelos elementos do meio que a onda se propaga a partir da posição de equilíbrio.
- ✓ A fase de uma onda é o argumento ($kx - \omega t$) da função seno. Quando a onda passa por uma posição x , a fase varia linearmente com o tempo t .
- ✓ O comprimento de onda λ de uma onda é a distância (paralela à direção de propagação) entre repetições da forma da onda, como mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Elementos de uma Onda.



- ✓ O número de onda k , está relacionado com λ , através de;

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (3)$$

- ✓ O período de oscilação (T) é o tempo que um elemento do meio leva para executar uma oscilação completa e está relacionado à frequência angular ω através da equação;

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (4)$$

- ✓ A frequência f de uma onda é definida como T^{-1} e está relacionada à ω através da equação;

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (5)$$

- ✓ A velocidade v da onda pode ser calculada por;

$$v = \lambda f = \frac{\lambda}{T} = \frac{\omega}{k} \quad (6)$$

Esse conjunto de valores caracterizam bem a onda em questão, cada onda possui seu comprimento de onda e frequência características. Quando comparadas duas ondas elas podem possuir esses valores iguais, mas podem possuir uma chamada diferença de fase angular (ϕ) entre si, ou seja, a onde se modelaria como segue;

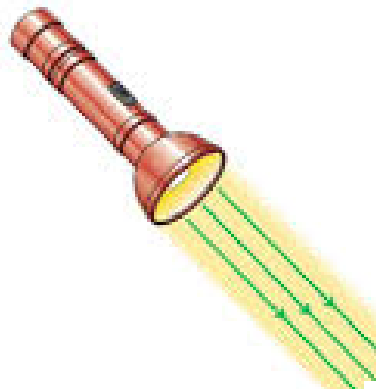
$$y(x, t) = y_m \sin(kx - \omega t + \phi) \quad (7)$$

A luz é um tipo de onda e quem primeiro fez observações experimentais e inclusive nomeou o efeito como difração foi o padre jesuíta italiano Francesco Maria Grimaldi (1618-1663) com o trabalho intitulado *Diffractio* sendo que a luz é tratada nos seguintes modos: óptica geométrica e óptica ondulatória.

2.2. Tratamento geométrico: óptica geométrica

O primeiro trata o raio de luz como um segmento de reta orientado (Ver Figura 4), denominando esse ramo como óptica geométrica. Nesse contexto muitos fenômenos envolvendo a luz podem ser explicados baseando-se somente em previsões. Os principais físicos que estudaram os efeitos de reflexão, refração da luz e formação de imagens em espelhos nessa metodologia foram Newton, Fermat, Snell e Descartes.

Figura 4 - Raios de luz representados por retas orientadas.



Fonte: http://www.aulas-fisica-quimica.com/8f_15.html

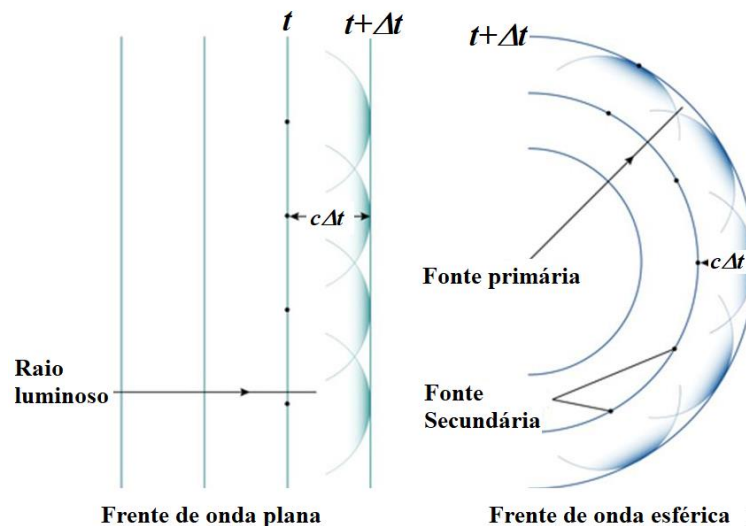
2.3. Tratamento Ondulatório – Huygens - Fresnel

Em 1678, Huygens formulou um princípio de grande importância para a compreensão da propagação de ondas publicado em 1690 em seu “tratado sobre a luz”. Embora aplicado apenas à propagação de ondas sonoras (onde o comprimento da onda é próximo das dimensões dos objetos) o princípio de Huygens afirma:

Cada ponto em uma frente de onda funciona como uma nova fonte, produzindo ondas que se propagam com a mesma frequência, velocidade e na mesma direção das ondas originais. (IFPR Oficina do Ensino de Física s.d.)

A Figura 5 ilustra bem o princípio de Huygens considerando frentes de ondas primárias e secundárias planas (da esquerda) e circulares (da direita). As ondas estão se propagando com uma velocidade c .

Figura 5 - Cada ponto da frente de onda comporta-se como uma nova fonte de onda



Fonte: adaptado de <https://slideplayer.com.br/slide/359069/>

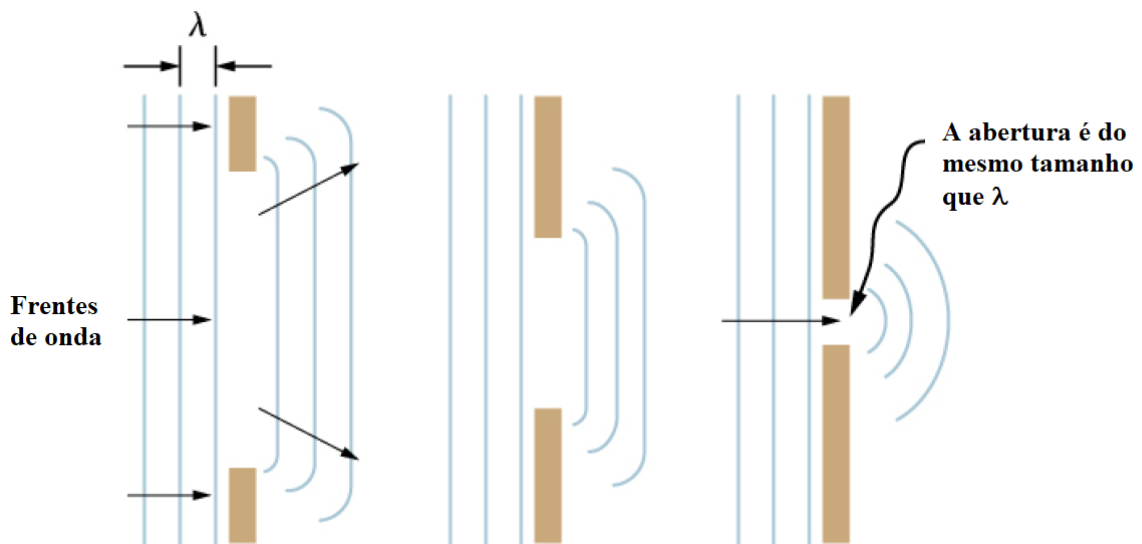
Ele não considera o comprimento de onda no efeito da difração e prevê o mesmo comportamento para todas as ondas indo de encontro ao mesmo obstáculo.

O princípio da ótica geométrica não consegue explicar como ondas sonoras sofrem difração, isto é, se curvam em torno de obstáculos grandes como árvores ou postes, enquanto as ondas de luz visível, não sofrem difração nos mesmos obstáculos.

A observação de fenômenos e o uso de experimentos através dos tempos nos informam que a difração ocorre de acordo com o comprimento de onda, ou seja, para a luz atravessando uma fenda, o fenômeno da difração só vai ocorrer quando a fenda for pequena, ou melhor, o tamanho da fenda vai ficando pequeno até tornar-se próximo do comprimento de onda da luz. Note a Figura 6 para um auxílio na compreensão.

O comprimento de onda da luz visível está compreendido entre 700 nm, luz vermelha e 400 nm para luz violeta, o que equivale em milímetros a $7 \cdot 10^{-4}$ mm a $4 \cdot 10^{-4}$ mm. Medidas realizadas comprovam que a espessura de um fio de cabelo humano é da ordem de 7×10^{-5} m sendo ideal para verificar a difração da luz e até possível medir a espessura do fio de cabelo.

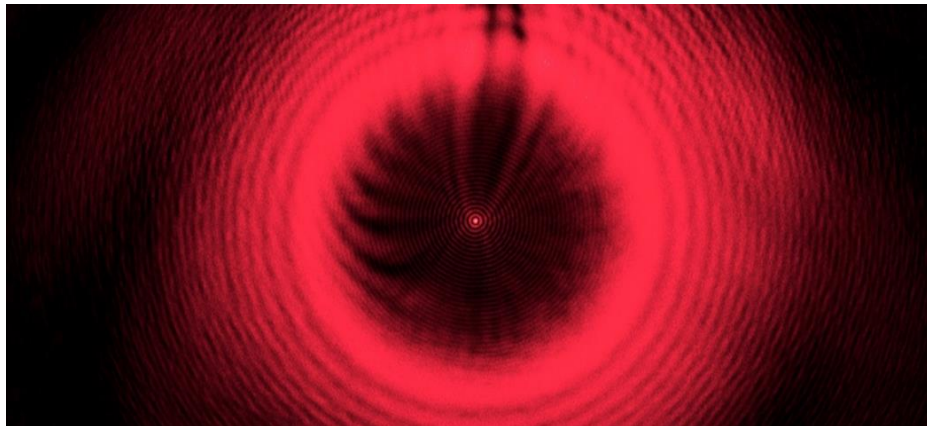
Figura 6 – Frentes de onda projetada em uma fenda. À medida que a fenda diminui, fica mais evidente o efeito de difração.



Fonte: Adaptado de LING, SANNY, MOEBS (2016, p. 32)

A teoria newtoniana, dos raios luminosos dominava os debates científicos franceses no início do século XIX enquanto Augustin-Jean Fresnel muito jovem e engenheiro militar acreditava que poderia explicar o fenômeno de difração usando a teoria ondulatória. Ele escreveu um trabalho à Academia Francesa de Ciências no qual descrevia seus experimentos com a luz e os explicava usando a teoria ondulatória. Fresnel venceu um concurso com o intuito de premiar o melhor trabalho sobre difração. Ele usou uma chapa com furo circular com dimensões da ordem do comprimento de onda da luz usada. Inconformado Siméon Denis Poisson propôs que a experiência fosse feita com uma esfera ao invés de um simples furo circular. Ele propôs que se a teoria de Fresnel estivesse correta as ondas luminosas convergiria para a sombra da esfera produzindo um ponto luminoso no centro da sombra. A comissão julgadora realizou o experimento e estava lá o *ponto claro de Fresnel*. As franjas de difração desta última experiência são mostradas na Figura 7.

Figura 7 Uma esfera de aço iluminada por um laser vermelho.



Fonte 2 Adaptado de LING, SANNY, MOEBS (2016, p. 145)

O cálculo quantitativo dos efeitos de difração foi possível após a reformulação do princípio de Huygens por Fresnel. Ele acrescentou os efeitos de interferência ao princípio original. As componentes da onda em direções fora da direção de propagação sofrem interferência destrutiva, gerando outra frente de onda que segue o padrão anterior. Esses novos termos foram adicionados ao princípio de Huygens, que ficou conhecido como o princípio de Huygens-Fresnel:

“... qualquer ponto de uma frente de onda que não seja obstruído, em qualquer instante se comporta

como uma fonte de ondas esféricas secundárias, da mesma frequência da onda primária. A amplitude do campo óptico em qualquer ponto após a passagem pelo obstáculo é a superposição das amplitudes das ondas esféricas secundárias, levando em conta suas fases relativas.” (USP s.d.)

O motivo pelo qual a luz atinge regiões para além da fenda, regiões inatingíveis para a luz, caso esta não sofresse difração é que o grande número de ondas secundárias esféricas “emitidas pela abertura” interferem constantemente no anteparo.

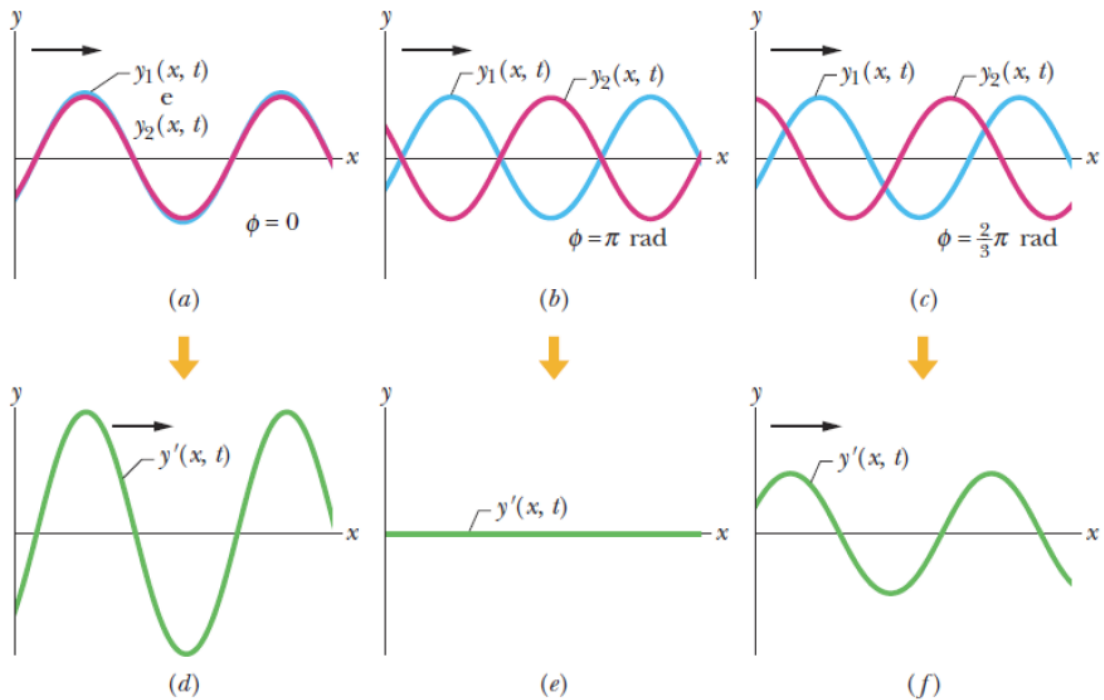
A interferência é um fenômeno que se dá quando duas ou mais ondas se superpõem em fase ou defasadas. Faremos uma análise qualitativa das situações mostradas na Figura 8 onde as diferenças de fase são $\phi = 0, \pi$ e $2\pi/3$ rad, com ondas que possuem mesmo número de onda (k) e mesma amplitude (y_m).

Na Figura 8(a) ambas as ondas estão em fase assim a superposição dessas ondas resultam em uma onda com amplitude aumentada de $2y_m$, como ilustrado na Figura 8(d). Esse tipo de interferência é chamada de interferência construtiva.

Na Figura 8(b) ambas as ondas estão completamente fora de fase assim a superposição dessas ondas resultam em uma onda com amplitude nula, como ilustrado na Figura 8(e). Esse tipo de interferência é chamada de interferência destrutiva.

Na Figura 8(c) as ondas estão com uma diferença de fase que difere dos dois casos anteriores assim a superposição dessas ondas resultam em uma onda com amplitude intermediária entre 0 e $2y_m$, como ilustrado na Figura 8(f). Esse tipo de interferência é chamada de interferência intermediária.

Figura 8 – Três exemplos de diferença de fase entre duas ondas coerentes.



Fonte 3 Adaptado de Resnick Halliday

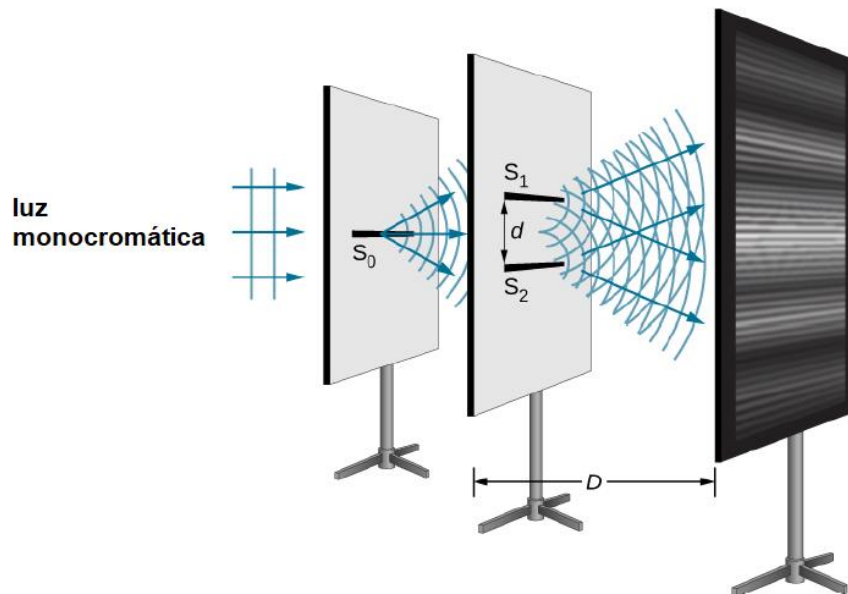
Tais fenômenos são perceptíveis se tivermos fontes coerentes que produzam ondas sem variação no decorrer do tempo em relação às outras, e possuírem uma relação de fase constante. Fontes incoerentes produzem ondas que variam com o tempo em relação às outras e o padrão de interferência pode até não ser notado pelo observador, caso a relação de fase varia continuamente.

2.4. Interferência de ondas

O experimento de interferência com a luz, feito pela primeira vez por Thomas Young, em 1801. Foi determinante para estabelecer-se a natureza ondulatória da luz, pois sabia-se que somente ondas poderiam sofrer interferência. Nesse experimento, uma onda plana originada de uma fonte monocromática distante incide sobre a fenda S_0 da primeira placa opaca, difrata-se através da fenda e é usada para iluminar as fendas estreitas S_1 e S_2 do segundo anteparo. Uma nova difração ocorre quando a luz atravessa essas fendas e duas ondas esféricas se propagam simultaneamente para

a direita interferindo uma com a outra, até incidir numa tela de observação (terceiro anteparo) como mostrado na Figura 9.

Figura 9 O experimento de interferência de dupla fenda usando luz monocromática e fendas estreitas. Franjas produzidas pela interferência das ondas de Huygens das fendas S_1 e S_2 são observadas na tela.



Fonte 4 Adaptado de LING, SANNY, MOEBS (2016, p. 119)

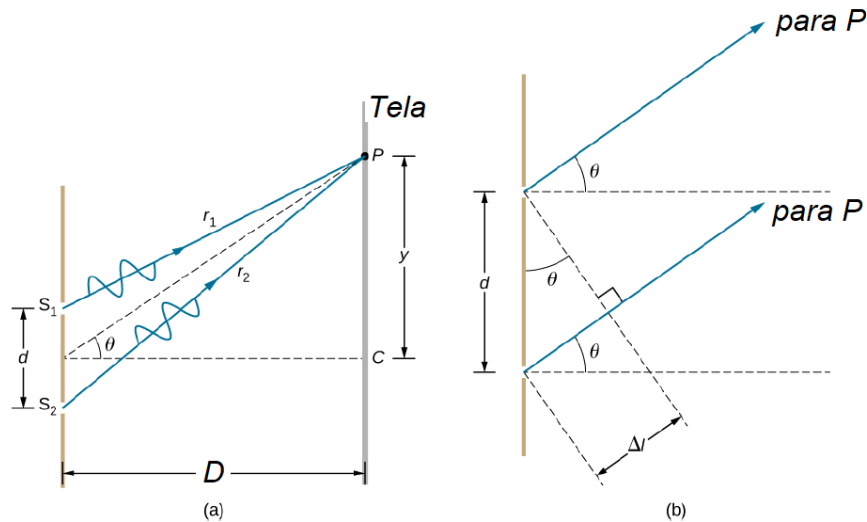
As ondas provenientes de cada fenda superpõem-se e interferem construtiva ou destrutivamente, em um certo ponto, dependendo da diferença de fase entre elas. Devido a esse efeito, observam-se, em um anteparo colocado na frente das fendas, regiões em que a intensidade da luz é máxima, alternadas com outras em que a intensidade é mínima, como mostrado, esquematicamente, na Figura 9.

Para obtermos esse padrão de interferência, com franjas claras e escuras, as ondas provenientes de cada fenda devem ser monocromáticas (de mesma frequência) e coerentes (a diferença de fase entre elas deve permanecer constante no tempo). A luz de um *laser* tem essas características tornando-se assim adequada para a obtenção de padrões de interferência.

Podemos usar a Figura 10(a) para representar uma onda plana que incide em uma placa com duas fendas. Nessa figura estão indicadas a separação d entre as fendas, a distância D da placa ao anteparo e o comprimento de onda λ da luz.

Considere o ponto P, situado no anteparo, em uma posição determinada pelo ângulo θ .

Figura 10 Esquema geométrico de duas ondas, representadas pelos raios r_1 e r_2 , passando através das fendas estreitas e interferindo no ponto P.



Fonte 5 Adaptado de LING, SANNY, MOEBS (2016, p. 122)

Para atingir esse ponto, as ondas provenientes de cada fenda percorrem distâncias diferentes. Se a diferença entre essas distâncias (Δl , de acordo com a Figura 10(b)) é igual a um número inteiro de comprimentos de onda, essas ondas chegam em fase em P e a intensidade da luz, nesse ponto, será máxima. Se, por outro lado, a diferença entre essas distâncias é igual a um número ímpar de meios comprimentos de onda, as ondas chegam fora de fase em P e a intensidade, nesse ponto, será mínima. De acordo com a Figura 10(b), Δl é o cateto oposto do triângulo retângulo definido por d e a projeção perpendicular de r_1 sobre r_2 . Assim,

$$\Delta l = d \sin \theta \quad (8)$$

O que nos leva a definir que para interferências construtivas,

$$d \sin \theta = m\lambda, \quad \text{com } m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (9)$$

e para interferências destrutivas,

$$d \sin \theta = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda, \quad \text{com } m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (10)$$

A posição de cada franja de interferência pode ser calculada através de y (dado na Figura 10(a)) e considerando a condição de baixo ângulo onde podemos aproximar $\sin \theta \approx \tan \theta$, implicando que, para as franjas claras;

$$\frac{m\lambda}{d} = \frac{y_m}{D}$$

ou

$$y_m = \frac{m\lambda D}{d} \text{ com } m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (11)$$

A intensidade das franjas de interferências é dada por;

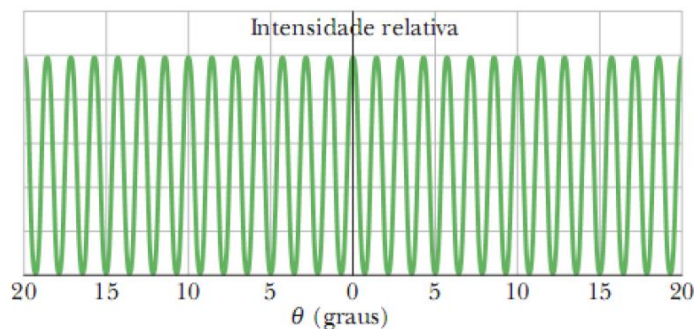
$$I = 4I_0 \cos^2 \beta \quad (12)$$

onde ϕ é a diferença de fase entre as ondas que atingem o ponto P, e

$$\beta = \frac{\phi}{2} = \frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta. \quad (13)$$

A plotagem da intensidade relativa I/I_0 do padrão de interferência é mostrado na Figura 11.

Figura 11 Plotagem da intensidade relativa do padrão de interferência em função da diferença de fase das ondas que interferem no ponto do anteparo.

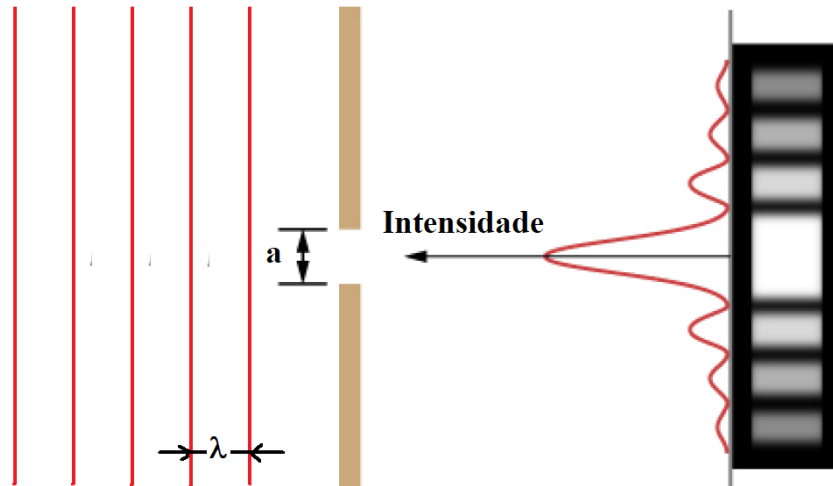


Fonte 6 Halliday

2.5. Difração em fenda única

Quando a luz, que é composta por ondas de uma única fonte ou oriundas de fontes coerentes, com comprimento de onda λ , atravessa uma fenda de tamanho aproximadamente igual ao seu comprimento de onda, a , uma figura de difração de uma fenda que consiste em um máximo central (franja clara) e uma série de franjas claras laterais separadas por franjas escuras (Veja Figura 12). Considerando o eixo central que passa pelo centro da franja clara máxima, os máximos estão situados aproximadamente a meio caminho entre os mínimos.

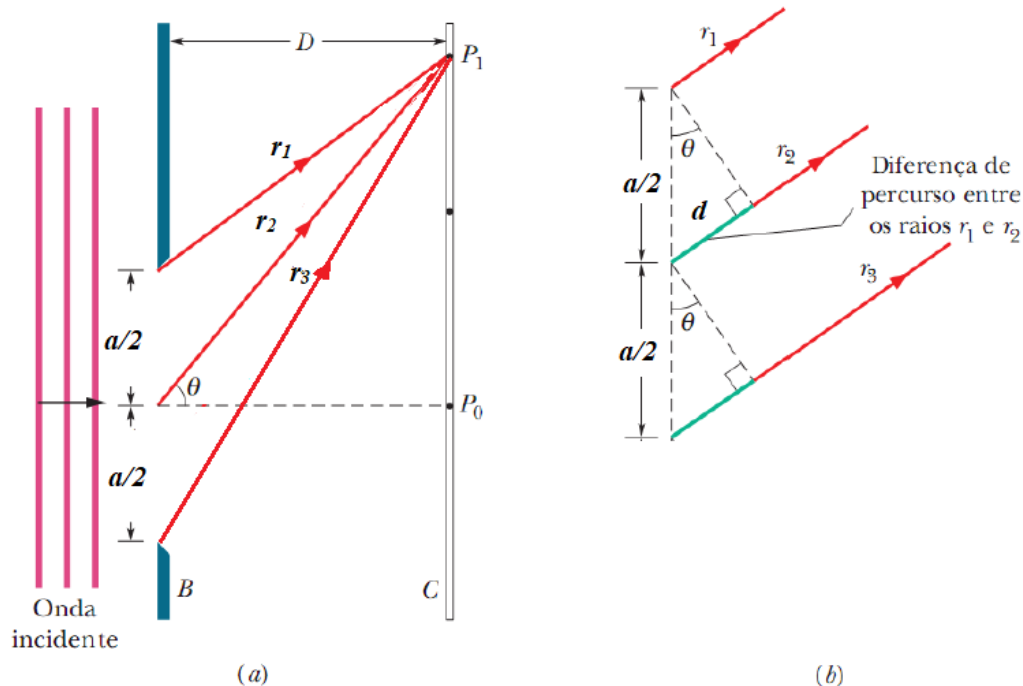
Figura 12 - Padrão de difração de fenda única. A luz monocromática que passa através de uma única fenda tem um máximo central, o mais brilhante, e máximos secundários (de intensidades menores) e mais escuros de cada lado.



Fonte: Adaptado de LING, SANNY, MOEBS (2016, p. 145)

Esse efeito pode ser analisado de acordo com o modelo de Huygens — cada porção da fenda atua como uma fonte de luz, pois participa da mesma frente de onda e estão em fase inicialmente, como mostrado na Figura 13(a). As ondas provenientes de cada ponto da fenda podem chegar ao anteparo em fase ou fora de fase, produzindo regiões respectivamente claras ou escuras. Considere o ponto P, situado no anteparo, em uma posição indicada pelo ângulo θ em relação a P_0 . O fato de termos usados aqui setas, não anula as ideias de Huygens, uma vez que elas indicam a direção de propagação das ondas, de onde podemos calcular o caminho percorrido por cada onda.

Figura 13 (a) Os raios provenientes da extremidade superior de duas regiões de largura $a/2$ sofrem interferência destrutiva no ponto P_1 . (b) Para $D \gg a$, podemos supor que os raios r_1 e r_3 são aproximadamente paralelos e fazem um ângulo θ com o eixo central.



Fonte 7 Halliday

Inicialmente dividiremos a fenda mentalmente em 2 regiões de largura $a/2$. Os raios r_1 , r_2 e r_3 ligam cada ponto da fenda ao ponto P_1 . Quando o anteparo está muito próximo das fendas, o padrão de difração se torna muito difícil de descrever matematicamente. Para contornar isso, vamos supor que o anteparo esteja muito distante da fenda de forma que $D \gg a$ (como mostrado na Figura 13(b)), o que é de fato o que ocorre experimentalmente. Esse artifício faz com que apareçam vários triângulos retângulos, como o mostrado na Figura 13(b), cujo manejo matemático é conhecido. Nota-se que a diferença de percurso (d) entre cada par de raio é o cateto oposto a θ , em todos os referidos triângulos retângulos. Onde analisaremos as condições de mínimo de difração. Para isso tomaremos os pares de raios vizinhos e sugerimos que a condição de mínimo deve ser satisfeita sempre que a diferença de percursos entre os pares de raios seja meio comprimento de onda, $\lambda/2$.

Desta forma, se a diferença de percurso, d , entre os raios r_1 e r_2 , for $d = \lambda/2$, onde a hipotenusa do referido triângulo é $a/2$, estaremos numa condição de mínimo de difração, logo;

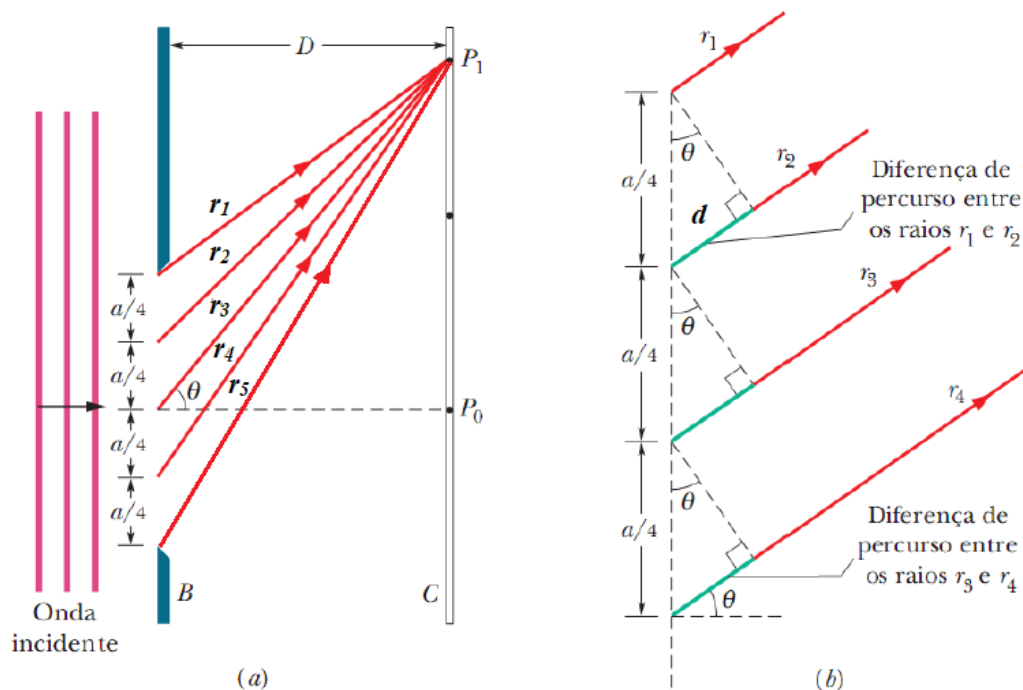
$$\sin \theta = \frac{d}{\frac{a}{2}} = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{2}{a} = \frac{\lambda}{a} \quad (14)$$

Assim, se fizermos o mesmo procedimento para os raios r_2 e r_3 encontraremos o mesmo resultado matemático, logo, essa é a primeira condição de mínimo de difração, onde

$$a \sin \theta = \lambda \quad (15)$$

Agora dividiremos a fenda mentalmente em 4 regiões de largura $a/4$, como mostra a Figura 14(a). Os raios r_1, r_2, r_3, r_4 e r_5 ligam cada ponto da fenda ao ponto P_1 .

Figura 14 (a) Os raios provenientes da extremidade superior de quatro regiões de largura $a/4$ sofrem interferência destrutiva no ponto P_1 . **(b)** Para $D \gg a$, podemos supor que os raios r_1, r_2, r_3, r_4 e r_5 são aproximadamente paralelos e fazem um ângulo θ com o eixo central.



Fonte 8 Halliday

Analisaremos a condição de mínimo de difração para esse caso. Desta forma, se a diferença de percurso, d , entre os raios r_1 e r_2 , for $d = \lambda/2$, onde a hipotenusa do referido triângulo é $a/4$, estaremos numa condição de mínimo de difração, logo;

$$\sin \theta = \frac{d}{\frac{a}{4}} = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{4}{a} = \frac{2\lambda}{a} \quad (16)$$

Assim, se fizermos o mesmo procedimento para todos os outros pares de raios vizinhos, encontraremos o mesmo resultado matemático, fazendo com que seja a segunda condição de mínimo de difração, onde

$$a \sin \theta = 2\lambda \quad (17)$$

Analogamente se dividirmos a fenda em 6 partes encontraremos a condição,

$$a \sin \theta = 3\lambda \quad (18)$$

que é a terceira condição de mínimo.

Se continuarmos a dividir a fenda em um número cada vez maior de regiões, chegaríamos à conclusão de que as posições das franjas escuras acima e abaixo do eixo central são dadas pela seguinte condição geral:

$$a \sin \theta = m\lambda, \quad \text{para } m = 1, 2, 3, \dots \quad (19)$$

A intensidade das franjas de difração é dada por;

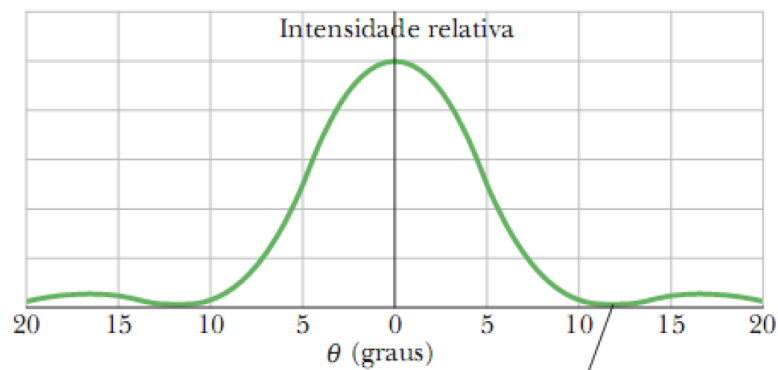
$$I = I_0 \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2 \quad (20)$$

onde ϕ é a diferença de fase entre as ondas que atingem o ponto P, e

$$\alpha = \frac{\phi}{2} = \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta. \quad (21)$$

A plotagem da intensidade relativa I/I_0 do padrão de interferência é mostrado na Figura 15.

Figura 15 Padrão de difração de fenda única calculado.

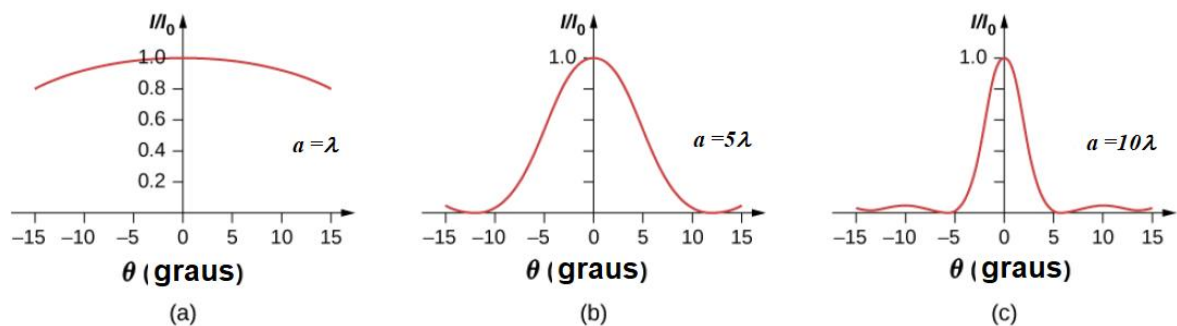


Fonte 9 Halliday

2.6. Fenda Dupla

Quando estudamos a interferência no experimento de dupla fenda de Young, ignoramos o efeito de difração em cada fenda. Nós assumimos que as fendas eram tão estreitas que na tela você via apenas a interferência da luz de apenas duas fontes pontuais. Se a fenda é menor que o comprimento de onda, a Figura 16(a) mostra que há apenas um espalhamento de luz e não há picos ou vales na tela. Portanto, era razoável deixar de fora o efeito de difração naquele capítulo. No entanto, se você fizer a fenda mais larga, a Figura 16(b) e (c) mostra que você não pode ignorar a difração. Nesta seção, estudamos as complicações do experimento de dupla fenda que surge quando você também precisa levar em consideração o efeito de difração de cada fenda.

Figura 16 Padrões de difração de fenda única para várias larguras de fenda. À medida que a largura da fenda D aumenta de $D = \lambda$ para 5λ e depois para 10λ , a largura do pico central diminui à medida que os ângulos dos primeiros mínimos diminuem conforme previsto para



Fonte 10 Adaptado de LING, SANNY, MOEBS (2016, p. 155)

Para calcular o padrão de difração para duas (ou qualquer número de) fendas, precisamos generalizar o método que acabamos de usar para uma única fenda. Ou seja, em cada fenda, colocamos uma distribuição uniforme de fontes pontuais que irradiam ondas de Huygens e então somamos as ondas de todas as fendas. Isso fornece a intensidade em qualquer ponto da tela. Embora os detalhes do cálculo possam ser complicados, o resultado final é bastante simples:

O padrão de difração de duas fendas de largura D que são separadas por uma distância d é o padrão de interferência de duas fendas separadas por d multiplicado pelo padrão de difração de uma fenda de largura a .

Matematicamente a intensidade do padrão de difração de fendas duplas é dada por:

$$I(\theta) = I_m (\cos^2 \beta)^2 \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2, \quad (22)$$

onde

$$\beta = \frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta, \quad (23)$$

que é um fator de interferência que depende de d que é a distância entre as fendas, e

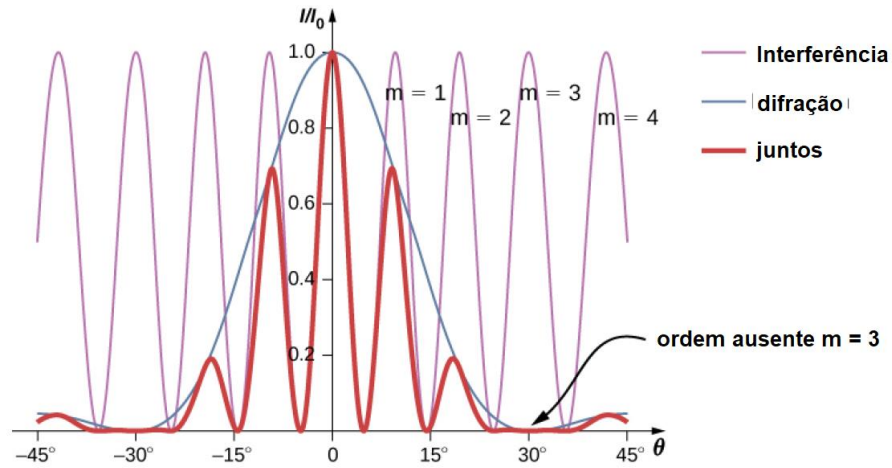
$$\alpha = \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta \quad (24)$$

que é um fator de difração que depende de a que é a largura das fendas.

Em outras palavras, os locais das franjas de interferência são dados pela equação $d \sin \theta = m\lambda$, a mesma de quando consideraram as fendas como fontes pontuais, mas as intensidades das franjas agora são reduzidas por efeitos de difração, segundo o fator $\left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2$ da equação 22. Observe que em interferência de ondas, escrevemos $d \sin \theta = m\lambda$ e usamos o número inteiro m para nos referir a franjas de interferência. A equação 19 também usa m , mas desta vez para se referir aos mínimos de difração. Se ambas as equações forem usadas simultaneamente, é uma boa prática usar uma variável diferente (como n) para um desses números inteiros para mantê-los distintos.

Os efeitos de interferência e difração operam simultaneamente e geralmente produzem mínimos em ângulos diferentes. Isso dá origem a um padrão complicado na tela, no qual faltam alguns dos máximos de interferência das duas fendas se o máximo da interferência está na mesma direção que o mínimo da difração. Nos referimos a um pico ausente como uma ordem ausente. Um exemplo de um padrão de difração no anteparo é mostrado na Figura 17. A linha sólida com múltiplos picos de várias alturas é a intensidade observada na tela. É o produto do padrão de interferência de ondas de fendas separadas e a difração das ondas de uma fenda.

Figura 17 Difração de uma fenda dupla. O gráfico mostra o resultado esperado para uma fenda de largura $D = 2\lambda$ e separação da fenda $d = 6\lambda$. O máximo de $m = \pm 3$ ordem para a interferência é ausente porque o mínimo da difração ocorre na mesma direção.

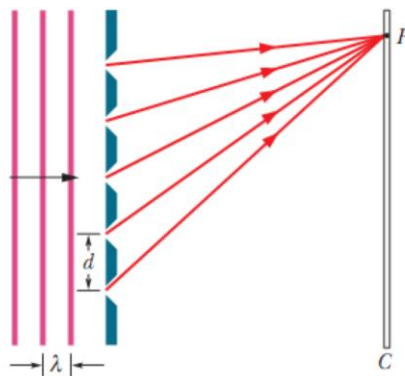


Fonte 11 Adaptado de LING, SANNY, MOEBS (2016, p. 156)

2.7. Redes de Difração

Uma rede de difração tem um comportamento semelhante a uma fenda dupla exceto pela quantidade de fendas existentes na rede. De acordo com Haliday “um dos dispositivos mais usados para estudar a luz e os objetos que emitem e absorvem luz é a rede de difração” (Haliday 2016, 279). A luz ao atravessar uma rede de difração sofre um espalhamento e produz vários pontos de luz e escuridão. Na Figura 18 podemos ver uma rede de difração simplificada.

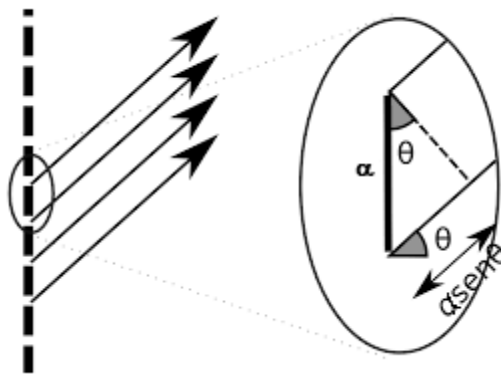
Figura 18 – Rede de Difração simplificada.



Fonte: (HALIDAY, 2016)

Para determinar as posições das linhas no anteparo usamos as mesmas considerações feitas para a dupla fenda. Considerando duas fendas vizinhas, veja a ampliação na Figura 19, nota-se que a $\text{sen}\theta = m\lambda$, o mesmo para uma fenda simples ($m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$). Se uma rede contém M fendas com espaçamentos iguais a a ocupando largura total A , então $a = \frac{A}{M}$ e a distancia A entre a primeira (primeiro raio) e última fenda (ultimo raio) será Ma , que corresponde a abertura total. Então podemos escrever $M.a.\text{sen}\theta = m\lambda$ para os raios extremos da rede.

Figura 19 – Múltiplas fendas simplificadas.



Fonte: Adaptada de <http://estudeadistancia.professordanilo.com/?tag=rede-de-difracao>

Se determinarmos a distância entre duas fendas, e o tamanho da rede, poderemos determinar a razão M/A (fendas por metro) uma vez que a rede seja homogeneamente espaçada. Considera-se a distância entre o centro do máximo central ($m=0$) e o centro do primeiro máximo ($m = 1$)

3. SEQUÊNCIA DIDÁTICA

PROFESSOR: JOSÉ ALVINO SOUSA FERREIRA

Disciplina: Física

Período: 29/04/19 a 09/05/2019

Números de sequências: 04 Encontros

Tema gerador: DIFRAÇÃO/INTERFERÊNCIA

Subtema: OPTICA

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Conceitual (saber)

- ❖ Identificar as características da Difração e Interferência.
- ❖ Reconhecer a Difração em um fenômeno.

Procedimental (saber fazer)

- ❖ Produzir experimentos com materiais alternativos que demonstrem o efeito da Difração e Interferência.

Atitudinal (saber ser)

- ❖ Pesquisar os vários fenômenos que envolvam a Difração e Interferência.

ESTRUTURA DA AULA

1ª Parte

O/a professor/a iniciará sua aula aplicando um teste para verificar se os alunos possuem a estrutura cognitiva que lhes permita a compreensão da Difração.

2ª parte

Em seguida constrói um mapa conceitual relativo aos conhecimentos e conceitos da óptica: tal como a natureza da luz, ondas, período, frequência e comprimento de onda da luz,

3ª parte

O docente iniciará via exposição de conteúdos dialogando sobre a Difração no cotidiano do aluno relatando exemplos das ondas no mar, ondas sonoras e ondas da luz. Em seguida o/a professor/a falará sobre os conceitos de Difração e a influência do comprimento da onda sobre o efeito da Difração. Explicará também que a Interferência é fundamental no efeito da Difração, Difração por Fenda Simples, contornando um obstáculo, por Fenda Dupla, as Redes de Difração e fundamentos matemáticos.

4ª parte

Após receberem os roteiros, os grupos apresentarão seus conhecimentos adquiridos na forma de experimentos e produções.

ESTRATÉGIAS DE AVALIAÇÃO

Conceitual

O docente irá fazer um questionário com perguntas abertas e fechadas para verificar se os alunos entenderam os conceitos da aula

Procedimental

Os alunos construirão vários experimentos sobre difração com material alternativo, além de relatório sobre a construção do experimento realizado

Atitudinal

Os alunos divididos em grupos deverão fazer várias pesquisas sobre a difração (redes de difração; aspectos da produção de vídeo; informações sobre estudiosos da difração; difração em um obstáculo) trazer na aula seguinte para dialogar sobre o seu trabalho a ser produzido.

MATERIAL NECESSÁRIO

GRUPO 1: Confecção do experimento difração sobre um fio de cabelo

caixa de papelão, Laser, fio de cabelo, cola, estilete e mesa.

GRUPO 2: Experimento sobre redes de difração

Laser, CD, caixa de papel, suporte e régua

GRUPO 3: Produção de vídeo

celular; caixa de papelão, Laser, fio de cabelo, cola, estilete e mesa.

GRUPO 4: Produção de cartazes

Cartolina, revista ou livros e ainda internet, lápis, lapiseira, tesoura, cola.

Tabela 1 Com relação de material

MATERIAL	QUANTIDADE	UNIDADE	TOTAL
Caixas de papelão (para calçados)	2	0	0
Laser	3	5,00	15,00
Fio de cabelo	1	0	0
Cola	3	2,00	6,00
Estilete	1	8,00	8,00
Mesa	4	0	0
CD	1	0	0
Suporte	1	15,00	15,00
Régua	1	2,00	2,00
Celular	1	0	0
Cartolina	2	1,00	2,00
lápiz	1	0	0
lapiseira	1	0	0
tesoura	1	1	5,00
TOTAL		53,00	

*valores coletados na época

3.1. Encontro 1

Informa-se aos alunos os aspectos da sequência, como será a abordagem e logo em seguida aplica-se um teste para verificar se os alunos possuem a estrutura cognitiva que lhes permita a compreensão da Difração. Aferição dos conhecimentos prévios.

ESCOLA:

Professor:

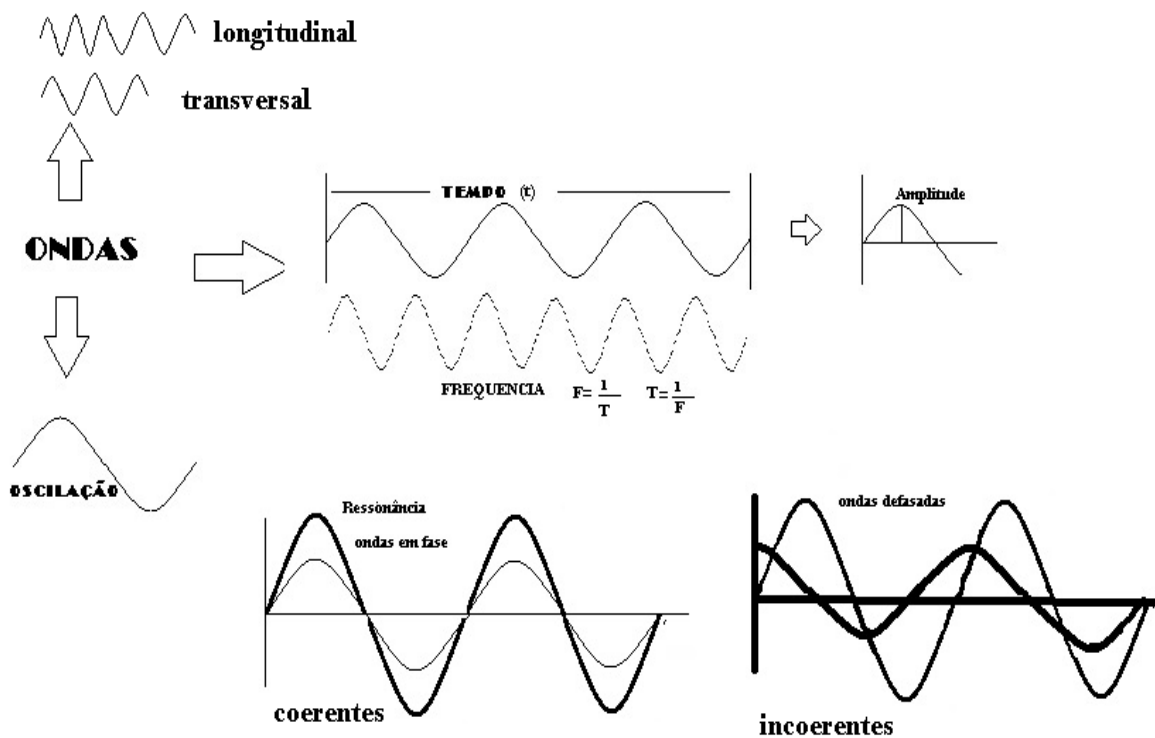
Nome:

1. Você já ouviu falar em movimento oscilatório ou movimento periódico? Se sim, tente explicar o que é e cite exemplo(s).
2. Já ouviu falar sobre ondas, tente definir uma fazendo uma representação gráfica (um desenho).
3. Você conhece quais tipos ondas?
4. Como se produz uma onda?
5. O que é frequência na sua concepção? Explique
6. Você já ouviu falar em ressonância? Se sim, tente explicar o que significa, com suas palavras
7. Você tem conhecimentos sobre interferência de ondas? Explique
8. Já viste alguma figura de interferência de ondas na água? Explique
9. Conhece as relações triangulares: catetos, hipotenusa, seno, cosseno e tangente? Explique
10. Por que você consegue ouvir uma pessoa do outro lado do muro, mas não a vê?

3.2. Encontro 2

Após aplicação do questionário e analisa-lo, inicia se uma aula com a construção de um mapa conceitual (como exemplo tem o mostrado na Figura 20) sobre Ondulatória a fim de reforçar os conhecimentos prévios dos alunos sobre: Oscilação, Onda, Frequência, Período, Amplitude, Comprimento de Onda, Ressonância: fase e defasagem, relações métricas no triângulo retângulo reforçando os conteúdos relacionados ao questionário acima.

Figura 20 - Exemplo de Mapa Conceitual



3.3. Encontro 3

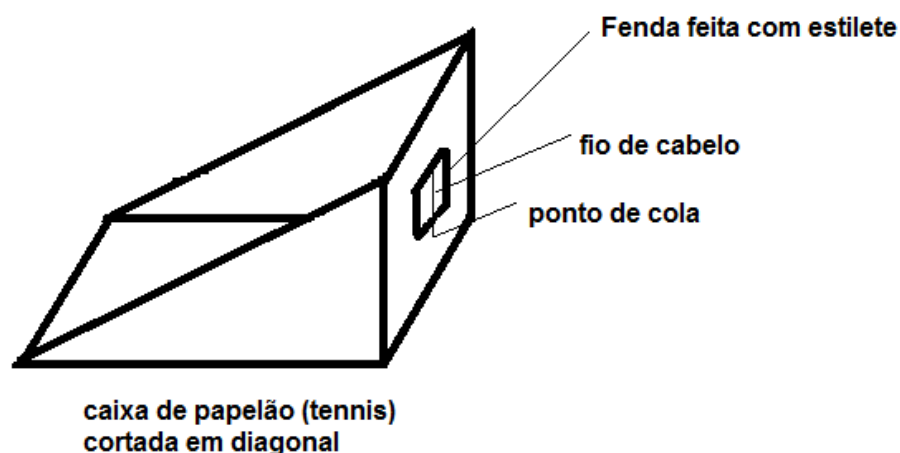
Após o reforço dos conhecimentos prévios introduz-se a óptica geométrica e física culminando com a Difração da Luz e em seguida divide-se a turma em 4 grupos de acordo com o número de temas e a identificação própria de cada grupo com a atividade proposta e deverão produzir os seguintes trabalhos:

3.3.1. Medida da espessura de um cabelo

Será necessário caixa de papelão (de tênis), Laser, fio de cabelo, cola, estilete, fita métrica ou régua, caderno para apoiar o laser e mesa (do professor). De posse do Laser instrua cuidados para não apontarem para os olhos das pessoas, pois é perigoso. Uma incidência de Laser nos olhos pode causar danos à retina e cegueira irreversível.

Com o uso de um estilete, corte a caixa em diagonal e faça uma janela aproximadamente 5 x 5 cm, usando a fita métrica, conforme a Figura 21. Usando cola rápida, faça a fixação de um fio de cabelo sobre a janela e teremos uma base para a incidência da luz laser.

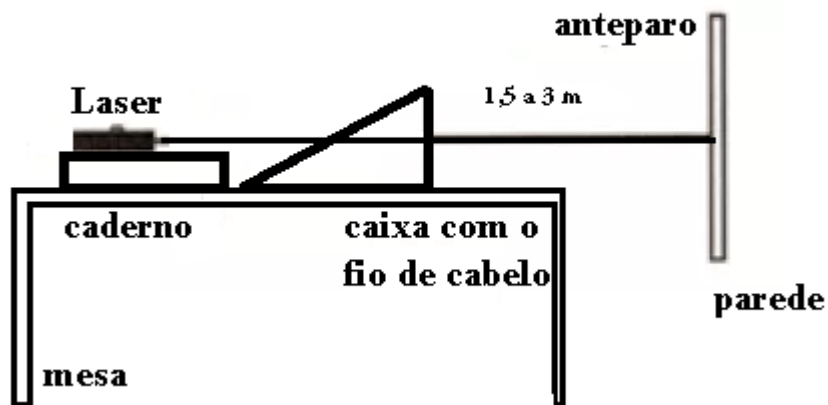
Figura 21 - Caixa de papelão preparada para o experimento de difração.



Consiga um aparato (uma parede lisa e branca). Posicione o Laser de modo que o feixe atravesse o fio de cabelo e observe o que acontece com a projeção na parede. O diagrama abaixo, Figura 22, dá uma ideia de como montar seu experimento.

Observe que o fio de cabelo deve ficar a mais ou menos 1,5 metros de distância da parede use a fita métrica para medir.

Figura 22 – Esquema de montagem do experimento.



Ao apontar o Laser para a parede esta deve ser a imagem que você vai obter, Figura 23.

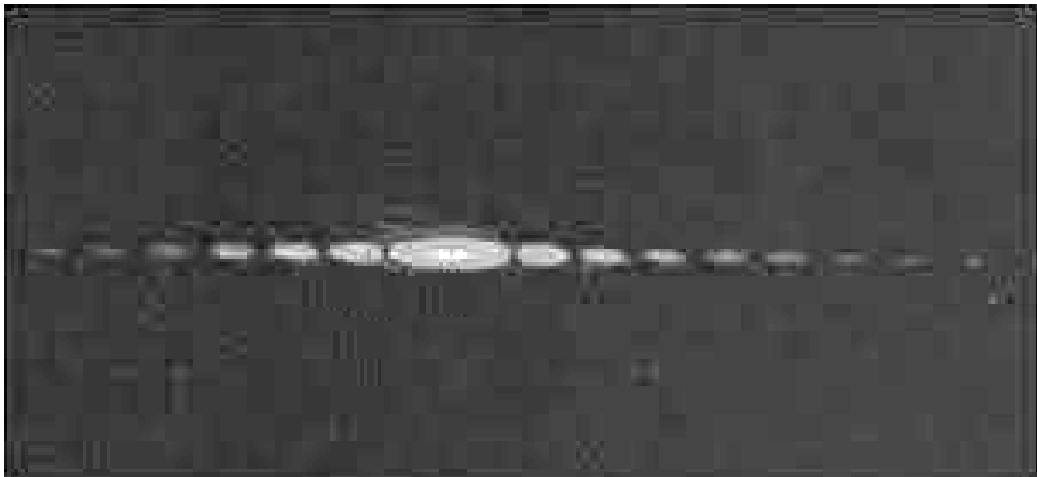
Figura 23 – Ponto de luz obtida com laser.



E ao apontar o Laser para o fio de cabelo, ajustando a sua distância em relação ao Laser e anteparo (parede), você deve obter a imagem abaixo, Figura 24. Como

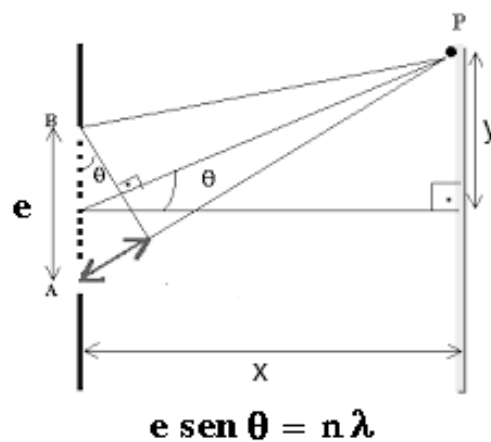
vimos no Capítulo 2, esse fenômeno é a difração da luz usando o fio de cabelo como uma fenda.

Figura 24 – Franjas obtidas com o fio de cabelo posicionado na frente do laser



Para calcular, a partir do padrão de difração, a espessura de um fio de cabelo vamos esquematizar o problema geometricamente como mostrado na Figura 25. Onde e representa a espessura do cabelo, x a distância do fio de cabelo ao quadro da sala e y a distância do máximo central até a ordem desejada de máximo ou mínimo.

Figura 25 - Esquema de cálculo da espessura do fio de cabelo



Vimos através da Equação 11 da Seção 5.4, que e , x e y são relacionados através de:

$$e = \frac{n\lambda x}{y}$$

λ = comprimento de onda da luz laser (nesta experiência utilizamos os lasers vermelho 680 nm ou verde 530 nm)

X = distancia da caixa ao anteparo (parede), medir com a fita métrica ou régua com máxima precisão.

Y = distância entre os dois primeiros pontos de luz do central e o primeiro imediato, medir com a fita ou régua com máxima precisão.

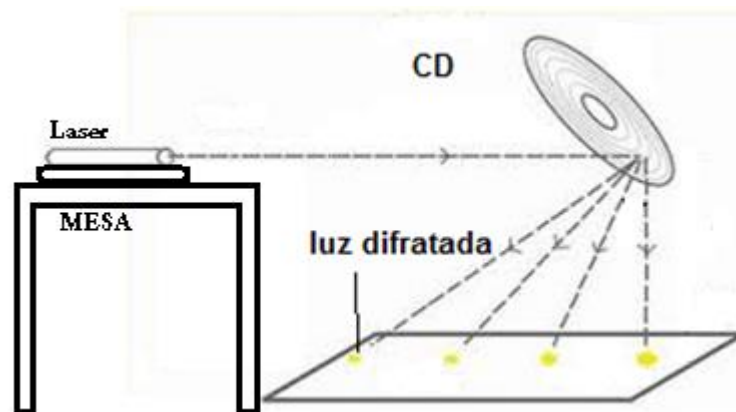
3.3.2. Experimento Sobre Redes de Difração

O aluno não encontrará dificuldade em obter Laser, CD, caixa de papel, suporte e régua. Ao apontar o laser para o cd e acionar o botão vai obter por reflexão (rede de reflexão) pontos de luz espaçados se estiver com a camada brilhante. Pode usar também um DVD (digital vídeo disc), mas a distância entre os pontos de luz refletidos será bem maior.

Embora a superfície do CD ou DVD pareça lisa e brilhante há furos microscópicos de aproximadamente 0,1 μm de profundidade e 3,3 μm de comprimento formando sulcos (pits) e afastados por 1,6 μm em espiral, sendo que o comprimento de onda da luz visível está na faixa de 0,4 μm a 0,7 μm então percebe-se que os sulcos (fendas) estão próximos do comprimento de onda da luz e o CD pode ser considerado uma rede de difração pois tanto uma rede de difração quanto um CD ou DVD têm o mesmo princípio de construção.

O esquema de montagem do experimento para visualizar o efeito da rede de difração pode ser visto na Figura 26.

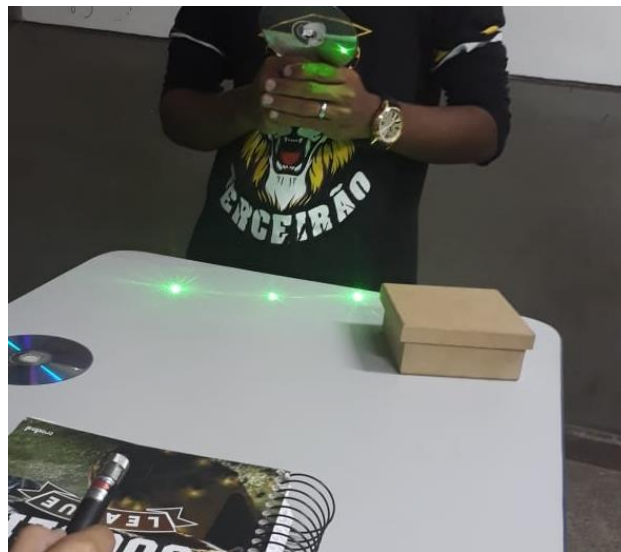
Figura 26 - Esquema de montagem do experimento



Fonte: Adaptada de portaldoprofessor.mec.gov.br

A Figura 27 mostra alunos se preparando para a realização da experiência usando um laser e um CD.

Figura 27 - Experimento demonstrando os feixes espaçados produzidos pela rede



O aluno poderá calcular a distância entre as fendas usando $a \sin \theta = m \lambda$

$$\alpha = \frac{m \lambda}{\sin \theta} \text{ o } \sin \theta \text{ pode ser calculado por } \sin \theta = \frac{\Delta y}{\sqrt{\Delta y^2 + d^2}}$$

Onde

α = distância ente os sulcos (fendas)

m = número relativo à fenda (no caso 1 é relativo à primeira fenda)

λ = comprimento da onda da luz (a ser pesquisado) (vermelha 680×10^{-9} ou verde 530×10^{-9} m)

Δy = distância entre os pontos de luz no anteparo (franjas)

d = distância entre o anteparo e o ponto de incidência da luz no cd

3.3.3. Produção de cartaz

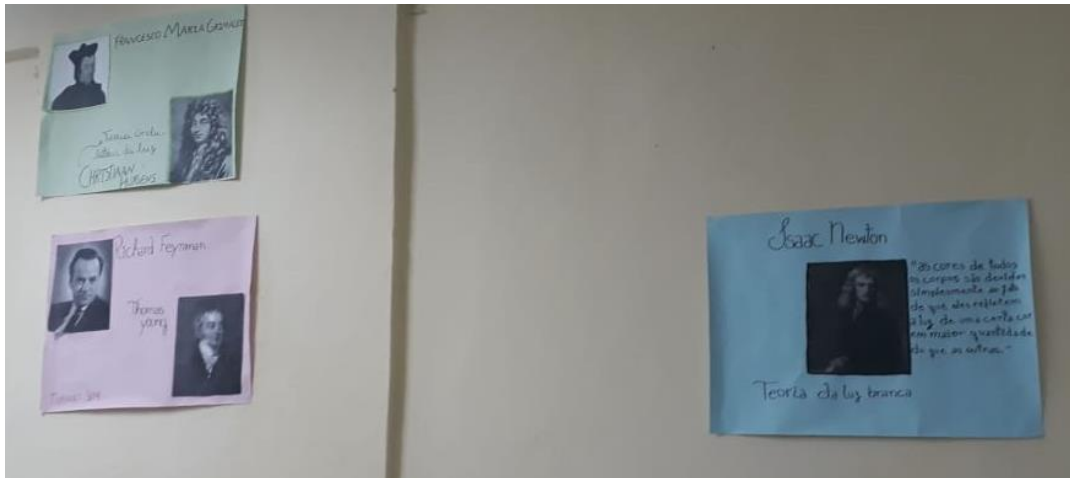
Esta é uma tarefa que parece bem menos complicada e que vai obter grande aceitação por parte da turma e trata-se também de outra forma de expressão do conhecimento, que é um meio de apresentação e fixação de conteúdo. Os alunos podem usar sua arte em desenhos e produção textual para seu entendimento e propagação das informações.

Neste trabalho orienta-se a produção de cartazes para que estes contenham a história e desenhos ou imagens de vultos da Física responsáveis pelo estudo da difração.

Com o uso do material Cartolina, revista ou livros e ainda internet, lápis, lapiseira, tesoura, cola, grupo responsável pelo(s) cartaz(es) deve pesquisar em livros ou internet a biografia de Huygens, Fresnel, Fraunhofer e Grimaldi produzindo seu próprio texto fazendo referência também ao trabalho do cientista, inserindo (colando) desenho ou figura recortada de revista descartada ou jornal no cartaz. Um modelo de cartaz é apresentado na Figura 28.

Material necessário: Cartolina, revista ou livros e ainda internet, lápis, lapiseira, tesoura, cola.

Figura 28 - Exemplo de Cartaz



3.3.4. Produção de vídeo

Atualmente o processo de expansão midiática permitiu qualquer pessoa produzir um vídeo, mesmo aqueles que possuem pouca intimidade com um celular. Para um melhor aproveitamento, basta direcionar o uso do dispositivo, uma vez que o mesmo torna-se um recurso auxiliar bem barato.

Daí o aluno pode muito bem expressar o que aprendeu sobre certo assunto produzindo um vídeo ressaltando seu conhecimento adquirido.

O grupo de alunos responsável pelo vídeo devem reproduzir o experimento filmar e reproduzir vídeo + áudio explicando o funcionamento da difração. Utilizando o material: celular; caixa de papelão, Laser, fio de cabelo, cola, estilete e mesa.

3.4. Encontro 4

Após apresentação da produção aplica-se um questionário de aferição dos conhecimentos obtidos de cada aluno de modo individual. Abaixo temos a sugestão de um questionário para avaliar os conhecimentos obtidos podendo ser aplicado ou não, ficando a cargo do professor uma vez que haja uma avaliação qualitativa e quantitativa durante as etapas da Sequência Didática.

Escola

Nome

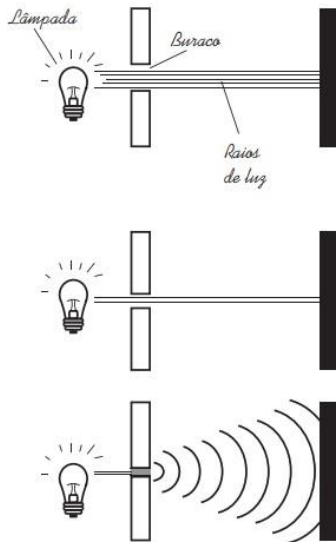
Atividade sobre Difração.

1 - Thomas Young (1773-1829) fez a luz de uma fonte passar por duas fendas paralelas antes de atingir um obstáculo e observou no anteparo o surgimento de regiões claras e escuras. Marque a alternativa verdadeira a respeito desse fenômeno:

- | | |
|--|--|
| a) Trata-se do fenômeno da refração, em que a luz tem condição de passar por obstáculos. | d) Trata-se do fenômeno da polarização, em que, após a passagem por pequenos obstáculos, as ondas tendem a contorná-lo. |
| b) Trata-se do fenômeno da difração, que ocorre somente com ondas mecânicas. | e) Trata-se do fenômeno da difração, em que, após a passagem por pequenos obstáculos, as ondas mecânicas tendem a contorná-lo. |
| c) Trata-se do fenômeno da difração, em que, após a passagem por pequenos obstáculos, as ondas tendem a contorná-lo. | |

2 - Ao diminuir o tamanho de um orifício atravessado por um feixe de luz, passa menos luz por intervalo de tempo, e próximo da situação de completo fechamento do orifício, verifica-se que a luz apresenta um comportamento como o ilustrado nas figuras. Sabe-

se que o som, dentro de suas particularidades, também pode se comportar dessa forma.



FIOLHAIS, C. Física divertida. Brasília: UnB, 2000 (adaptado).

Em qual das situações a seguir está representado o fenômeno descrito no texto?

- Ao se esconder atrás de um muro, um menino ouve a conversa de seus colegas.
- Ao gritar diante de um desfiladeiro, uma pessoa ouve a repetição do seu próprio grito.
- Ao encostar o ouvido no chão, um homem percebe o som de uma locomotiva antes de ouvi-lo pelo ar.
- Ao ouvir uma ambulância se aproximando, uma pessoa percebe o som mais agudo do que quando aquela se afasta.
- Ao emitir uma nota musical muito aguda, uma cantora de ópera faz com que uma taça de cristal se despedace.

3 – A respeito da difração, assinale a opção falsa:

- O som se difrata mais do que a luz, porque o seu comprimento de onda é maior.
- Os sons graves se difratam mais do que os sons agudos.
- A luz vermelha se difrata mais do que a violeta.

7 - Um CD (*Compact Disc*) ao receber luz visível, mostra o espectro de cores contida na luz. Isto ocorre porque o CD se comporta como:

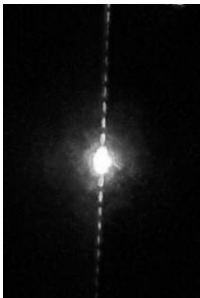
- a) rede de difração
- b) placa polarizada
- c) prisma refrator
- d) lente refletora
- e) nada

8 – Qual foi o precursor dos estudos sobre difração da luz?

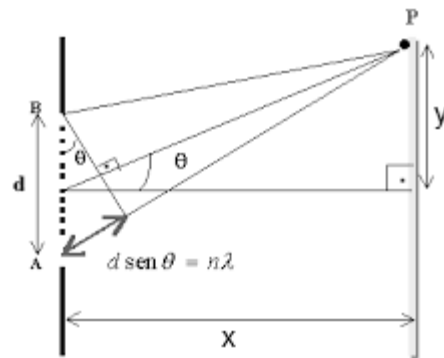
- a) Newton b) Thomas Young c) Huygens d) Francesco Grimaldi
- e) nda

9 – Na foto da difração do fio de cabelo demonstrada pelos alunos, temos um ponto central luminoso e pontos tracejados significando:

- a) Pontos de interferência construtiva e destrutiva
- b) Pontos de luz laser
- c) Reflexos do fio de cabelo
- d) Espessura do laser sobre o fio de cabelo
- e) Nada



10 – Na figura determine a espessura do fio de cabelo iluminado com luz verde de comprimento de onda $\lambda = 500\text{nm}$, ou seja, $5 \times 10^{-5} \text{ cm}$



d = espessura do fio de cabelo; y = distância entre o centro luminoso e o primeiro ponto escuro ($0,01\text{m} = 1\text{cm}$) (obs.: isto faz com que $n=1$); x = distância entre o fio de cabelo e a parede ($1\text{m} = 100\text{cm}$).

Use $\rightarrow d = \frac{\lambda x}{y}$ (como demonstrado na aula sobre difração da luz)

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Destaca-se aqui que este trabalho foi efetuado em uma escola estadual do estado do Maranhão, mesmo não tendo alcançado sucesso, e não sendo um material detentor do conhecimento absoluto, serve para incentivar e conquistar alunos que anseiam por outras formas de abordagens de conteúdo. A Sequência Didática produzida obteve grande aceitação na escola em que lhe deu origem sendo um instrumento altamente atraente para os alunos que jamais vão ver uma sombra produzida, um arco íris, ou até mesmo um fenômeno marítimo com a mesma visão, além disso esta Sequência Didática vem a ser mais uma ferramenta para somar com outras já existentes, podendo inclusive servir de inspiração para abordagem de outros assuntos e praticas produzidas por colegas docentes.

REFERÊNCIAS

LING, S. J., SANNY, J. and MOEBS, W., **University Physics**, Volume 3, OpenStax, Houston, 2016.

Haliday, Resnick, Walker. *Fundamentos de Física 4*. Rio de Janeiro : LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2016.

Machado, João Vitor Hayashi. "Física - BONJORNÓ - Exercícios de Física envolvendo Energia ..." *EBAH*. 2016. <https://www.ebah.com.br/content/ABAAAfJbMAD/fisicfa-bonjorno> (acesso em 01 de Outubro de 2018).