

Mestrado Profissional em Ensino de Física
Instituto de Física
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Scheila Vicenzi

Difração e Interferência para Professores do Ensino Médio

Porto Alegre
2007

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA
Programa de Pós Graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física

Scheila Vicenzi

Difração e Interferência para Professores do Ensino Médio¹

Dissertação realizada sob a orientação do professor Dr. Sílvio Luiz de Souza Cunha, apresentada ao Instituto de Física da UFRGS em preenchimento parcial dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Porto Alegre
2007

¹ Trabalho parcialmente financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

AGRADECIMENTOS

Agradeço:

- Ao meu marido Juan, pelo incentivo, apoio e pela sua paciência. Aos meus pais, Remi e Madalena pelo apoio.
- Ao professor Sílvio Luiz Sousa Cunha, pela orientação valiosa e amizade.
- Aos colegas do mestrado, turma de 2004. Vocês são exemplos de parceria e coleguismo!
- A direção da escola Apolinário Alves nos Santos, por viabilizar a execução do projeto.
- Ao departamento de Física da Universidade de Caxias do Sul, pela disposição que receberam a mim e meus alunos durante o andamento do projeto.
- Aos estudantes das turmas 301 e 302 (2006) da escola Apolinário Alves dos Santos, pelas contribuições (oral e escrita) durante a aplicação do projeto.
- Às professoras Andrea e Luisa pela leitura e sugestões do material disponível na wiki.

RESUMO

Este trabalho é um relato de um projeto visando inserir o estudante do Ensino Médio no contexto da mecânica ondulatória, portal de entrada da física moderna, através de uma abordagem diferenciada enfocando duas das propriedades mais importantes e definidoras de qualquer fenômeno ondulatório, a Difração e a Interferência, assuntos que normalmente não são tratados adequadamente no Ensino Médio. Preparamos, para professores de Física do Ensino Médio, um material instrucional sobre o tema, o qual inclui um hipertexto de apoio, uma seleção de 25 experimentos de baixo custo e uma relação de animações e simulações, acessíveis a partir da Internet, relacionados aos conceitos físicos envolvidos nos experimentos. Este material foi testado em um modelo didático de aulas prevendo uma intensa participação dos estudantes em todas as atividades e incluindo também o trabalho com mapas conceituais em todas as aulas, tanto com objetivos de reforço pedagógico no processo de aprendizagem como na avaliação da evolução cognitiva dos estudantes. O material instrucional desenvolvido como produto deste projeto está disponibilizado no servidor Wiki do Instituto de Física da UFRGS. Apesar deste produto ter sido desenvolvido como material de apoio ao professor, pode ser utilizado como material de consulta por parte dos estudantes.

Palavras Chave: Ensino da Física, Aprendizagem Significativa, Difração e Interferência.

ABSTRACT

This monograph is related to a project whose main objective is to insert the high school student in the context of wave mechanics, the entrance to modern Physics. This goal achieved using a peculiar approach of the two main properties which define any ondulatory phenomenon: diffraction and interference. These matters are not usually properly handled at high school. We prepared support material for teachers including several lessons, hypertext, a selection of 25 low cost experiments and web available animations and simulations. These animations are all related to all the physical phenomenon involved in the experiments. This material was extensively tested in a didactic class model, having extensive students participation in all activities, and also including concept maps exercises in all classes. Concept maps were applied as a pedagogic reinforcement on learning process and to evaluate cognitive improvements of the students. The institutional material developed as a product of this available at the Wiki server of UFRGS Physics Institute. Although this product have been developed as support material for teachers, it can also be used as research source for students.

Key words: Physics teaching, Significant learning, Diffraction and Interference.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 -	Página inicial do hipertexto “Ondas” disponível na Wiki do Instituto de Física da UFRGS.....	22
Figura 02 -	Página referente ao assunto Princípio de Huygens.....	24
Figura 03 -	Página inicial do hipertexto “Ondas” com opções para exercícios, demonstrações e outros textos.....	25
Figura 04 -	Tela de um simulador.....	26
Figura 05 -	Cuba de ondas.....	31
Figura 06 -	Adaptação do laser diodo para as demonstrações	32
Figura 07 -	Alunos observando o Interferômetro de Michelson.....	39
Figura 08 -	Tela do Simulador utilizado para estudar o Princípio de Huygens	40
Figura 09 -	Alunos interagindo com a cuba de ondas, sobre um retroprojektor.....	41
Figura 10 -	Simulação criada pelo estudante Felipi	41
Figura 11 -	Grupo apresentando o Experimento de Young reproduzido a partir de duas fendas num filme fotográfico velado	45
Figura 12 -	Grupo fazendo investigações a respeito da difração da luz durante apresentação	45
Figura 13 -	Relatório de grupo, contendo informações sobre material utilizado, montagem e embasamento teórico.....	46
Figura 14 -	Apresentação de uma figura pontilhista do aplicativo “pontilhismo e difração”.....	50
Figura 15 -	Uma das telas da animação de difração do aplicativo “pontilhismo e difração”.....	50
Figura 16 -	Mapa conceitual de uma aluna traçado antes da instrução.....	53
Figura 17 -	Mapa conceitual da mesma aluna traçado depois da instrução.....	54
Figura 18 -	Primeiro mapa conceitual de outra estudante.....	58
Figura 19 -	Segundo mapa conceitual da mesma estudante da figura 18.....	59
Figura 20 -	Terceiro mapa conceitual da mesma estudante da figura 18.....	60
Figura 21 -	Quarto mapa conceitual da mesma estudante da figura 18.....	61
Figura 22 -	Quinto mapa conceitual da mesma estudante da figura 18.....	62
Figura 23 -	Sexto mapa conceitual da mesma estudante da figura 18.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Apresenta os simuladores consultados e utilizados durante a aplicação do projeto.....	27
Tabela 02 - Experimentos demonstrados durante a aplicação do projeto.....	33
Tabela 03 - Experimentos apresentados pelos estudantes.....	44

SUMÁRIO

Agradecimentos	4
Resumo	5
Abstract	6
Lista de Figuras	7
Lista de Tabelas	8
I Introdução	10
II Estudos Relacionados	13
III Referencial Teórico	16
III.1. TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL.....	16
III.2. REFERENCIAIS TEÓRICOS INCORPORADOS NO PROJETO.....	18
IV METODOLOGIA	19
IV. 1. ESCOLA ESTADUAL DE ENSINO MÉDIO APOLINÁRIO.....	20
IV. 2. ORGANIZAÇÃO DO CONTEÚDO.....	21
IV. 3. ORGANIZAÇÃO DAS ANIMAÇÕES.....	25
IV. 4. ORGANIZAÇÃO DO MATERIAL EXPERIMENTAL.....	31
IV. 5. MAPAS CONCEITUAIS.....	35
IV. 6. IMPLANTAÇÃO DO MATERIAL.....	36
V RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
V.1. NA SALA DE AULA.....	38
V.2. OS PROJETOS.....	43
V.3. AS DEMONSTRAÇÕES.....	47
V.4. AS ANIMAÇÕES.....	49
V.5. OS MAPAS CONCEITUAIS.....	51
VI CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
REFERÊNCIAS	69
APÊNDICES	71
APÊNDICE A – HIPERTEXTO NA WIKI	72
APÊNDICE B – AVALIAÇÕES APLICADAS	75
APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA	79
ANEXOS	124
ANEXO A – COMO CONSTRUIR UM MAPA CONCEITUAL	125
ANEXO B – ENSINANDO DIFRAÇÃO PARA ALUNOS DE ENSINO MÉDIO	126
ANEXO C – TRANSFORMANDO UM LASER DE DIODO PARA EXPERIMENTOS DE ÓPTICA FÍSICA	137
ANEXO D – INTERFERÔMETRO DE MICHELSON	151

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Os fenômenos ondulatórios têm um papel destacado na natureza. São inúmeros os fenômenos da natureza que podem ou necessitam ser descritos por modelos ondulatórios. Podemos observar facilmente ondas nas superfícies da água em um copo, na piscina ou no mar. Podemos até surfar sobre algumas destas “ondas”. Também nos assustam as descrições de um *tsunami* ou os tremores devido à onda gerada por um terremoto. Algumas categorias de fenômenos ondulatórios foram e são essenciais para a evolução e sustentação da vida sobre a Terra e estão presentes na maioria das modernas tecnologias. Entre estes se destacam todos aqueles que se relacionam com a transmissão de informação ou de energia, como o som, a luz e mais genericamente, todas as formas de ondas eletromagnéticas.

A mecânica quântica tem uma das suas representações fundamentais baseada em um modelo ondulatório. O destaque do papel dos fenômenos ondulatórios na natureza e a importância do seu entendimento são reconhecidos por muitos dos autores de textos didáticos, como o manifestado por Gaspar: “... o conhecimento da óptica ondulatória é essencial, sobretudo para a compreensão das idéias físicas modernas. Por exemplo, a experiência da fenda dupla de Young é básica para a compreensão do enigmático caráter dual da luz.” [Gaspar, 2004, p. 155], ou por Cavalcanti et al.: “Para o entendimento adequado do princípio da dualidade (onda-partícula) devemos entender com clareza os fenômenos de interferência e difração” [Cavalcante et al., 1999, p. 154].

A principal assinatura dos sistemas ondulatórios resulta da propriedade de superposição das ondas, da qual resulta dois dos seus fenômenos mais característicos: a interferência e a difração. Através destas duas propriedades ondulatórias é possível entender algumas das propriedades dos instrumentos ópticos como lunetas, telescópios e máquinas fotográficas (o poder de resolução destes instrumentos, devido à difração); a continuidade nas imagens de TV, que resulta também da difração; as cores que são geradas por interferência em bolhas de sabão, asas de borboleta, película de óleo; entre outros fenômenos naturais e tecnológicos presentes no nosso cotidiano.

Porém, apesar da sua importância na maioria dos fenômenos da natureza, a abordagem dos assuntos difração e interferência são deficientes no Ensino Médio, não tendo ainda conquistado o seu merecido espaço nos currículos escolares. Um dos fatores se deve a dificuldades teóricas por parte dos professores, “*Constatamos, através de depoimentos, de vários professores de Física de escolas de ensino médio, que o ensino de óptica, incluindo fenômenos de difração e interferência da luz não é devidamente considerado. Acreditamos que isso pode ocorrer pelas dificuldades teóricas que envolvem o assunto...*” [Galli e Salami, 1999, p. 242], que por sua vez levam a uma falta de motivação pelo tema, “...*Infelizmente, como ocorre com o estudo de ondas, os professores não gostam desse assunto e procuram evitá-lo. Muitos argumentam que não é importante porque nem os vestibulares e*

nem a maioria dos livros didáticos lhe dão destaque. É bem provável que isso se deva ao pouco apreço dos professores pelo assunto...” [Gaspar, 2004, p. 155].

Um outro fator determinante para esta deficiência no ensino de Física na escola é o pouco tempo disponível para esta disciplina, que variam de dois a três períodos de 50 minutos, e o vasto conteúdo a ser vencido pelo professor neste período. Como consequência o professor acaba sendo obrigado a selecionar os conteúdos, optando normalmente pelo mais simples em termos de teoria ou mais acessível experimentalmente. Sem contar que há ainda, muitas escolas que não dispõem de laboratório de ciências com material experimental ou laboratório de informática com acesso a aplicativos e simulações para facilitar a compreensão do tema.

Foi pensando na necessidade de inserir o estudante no contexto da mecânica ondulatória, portal de entrada da física moderna, e levando em conta a falta de estrutura que algumas instituições escolares enfrentam, que preparamos para os professores de Física um material instrucional sobre o tema, incluindo uma seleção de experimentos de baixo custo e de fácil acesso, e uma relação de animações e simulações, acessíveis a partir da Internet, relacionados aos conceitos físicos envolvidos nos experimentos. Disponibilizamos este material no servidor Wiki do Instituto de Física da UFRGS. Este material instrucional, apesar de ter sido desenvolvido como material de apoio ao professor, pode ser utilizado como material de consulta por parte dos estudantes.

Antes de aplicar este material com as turmas do terceiro ano da E. E. de Ensino Médio Apolinário, conforme previsto no projeto *Difração e interferência para Professores do Ensino Médio*, o mesmo material foi utilizado em duas oficinas do projeto *Ciências de Todos*, da Universidade de Caxias do Sul, promovido para professores de Física, Química, Biologia e Ciências do Ensino Médio. Na oficina do dia 01/07/2006, foi abordado o conceito de ondas e suas características, foram utilizadas demonstrações e simulações. Na segunda oficina, ministrada no dia 05/08/2006 foram abordados os seguintes temas: Princípio de Huygens, difração, interferência e fendas múltiplas. A oficina foi bastante interativa, com atividades baseadas nas várias demonstrações experimentais propostas no projeto e sempre complementadas por simulações.

Após as oficinas, o projeto foi aplicado nas duas turmas de terceiro ano da Escola Estadual de Ensino Médio Apolinário Alves do Santos em Caxias do Sul. A turma 301 possui 32 alunos e a turma 302 possui 30 alunos. Nesta fase do projeto foi utilizada uma segunda versão revisada do material instrucional.

Toda a estrutura do projeto *Difração e interferência para Professores do Ensino Médio* foi elaborada para ser aplicada, seguindo o referencial teórico baseado na teoria de aprendizagem significativa, do teórico cognitivista, David Ausubel.

De acordo com o referencial teórico, durante a elaboração e aplicação do projeto, procuramos promover:

- O estudo dos fenômenos de difração e de interferência explorando ao máximo os experimentos.

- O uso didático de simulações e aplicativos de computador como organizadores prévios e facilitadores da aprendizagem significativa, sempre em suplementação às atividades experimentais.
- Utilização de mapas conceituais, como instrumentos didáticos de ensino/ aprendizagem, avaliação e análise dos conhecimentos prévios dos alunos.

A realidade da escola em que o projeto foi aplicado também foi um fator determinante para defini-lo. Sabendo que são várias as instituições escolares, como a nossa, que não dispõe de materiais de laboratório e laboratório de informática, procuramos selecionar materiais de baixo custo e fácil acesso para incentivar a realização de demonstrações em sala de aula.

Nessa dissertação apresentamos como foi pensado, elaborado e aplicado o projeto ***Difração e interferência para Professores do Ensino Médio***.

No capítulo II, são comentados os estudos relacionados com o tema escolhido. Apresentamos as principais referências que incentivam o uso de material experimental no ensino da difração e interferência. Citamos o material consultado da internet que acreditamos ser potencialmente facilitador, para o estudante, do entendimento de como os fenômenos ocorrem a partir da visualização e interação.

No capítulo III, é apresentada, de forma sucinta e objetiva, a teoria de aprendizagem que norteia o trabalho. É descrito também como a teoria foi incorporada a presente proposta de trabalho.

Discutimos, no capítulo IV, a metodologia do projeto e o contexto em que o projeto foi aplicado. Ainda neste capítulo, descrevemos como o conteúdo foi organizado e disponibilizado como hipertexto de apoio, utilizando o servidor colaborativo Wiki. A ênfase do material é na descrição da montagem e na condução dos experimentos em sala de aula, que são marcantes por utilizarem material de baixo custo e de fácil aquisição.

No capítulo V, descrevemos os resultados da aplicação do projeto, a forma como este foi conduzido e o impacto nos estudantes. A opinião dos alunos em relação à metodologia, uso de mapas conceituais, demonstrações e simulações.

Apresentamos no capítulo VI, as considerações finais, sobre o projeto, com algumas referências e sugestões a respeito da metodologia e trabalhos futuros, a partir do material colhido, que não foi integralmente esgotado.

Por fim, apresentamos as referências, os apêndices com o material produzido durante o projeto e os anexos.

CAPÍTULO II

ESTUDOS RELACIONADOS

Apresentamos nesse capítulo, as principais fontes bibliográficas que foram consultadas ao longo do projeto e serviram de base para a nossa proposta.

Uma variedade de livros didáticos foi analisada (em torno de 14 livros), os PCN's² e uma grande parte das revistas especializadas em ensino da Física. Entre elas: *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* (antigo Caderno Catarinense de ensino de Física), *Revista Brasileira de Ensino de Física*, *Física na Escola*, *The Physics Teacher* e *American Journal of Physics*. Destas revistas, a maior parte das atividades desenvolvidas nesse trabalho, foram encontradas e adaptadas do *Caderno Brasileiro de Ensino Física* e uma atividade da revista *The Physics Teacher*.

Também foram acessados alguns sites direcionados ao ensino da Física e analisados os aplicativos disponíveis.

É evidente a mudança na forma de apresentação do assunto Difração e Interferência nos livros didáticos: as publicações mais recentes estão fornecendo informações mais fundamentadas sobre as propriedades da luz, como idéias a cerca dos fenômenos, conceitos, aplicações tecnológicas relacionadas à luz e ondas e sugestões de demonstrações.

Nos livros *Texto de apoio ao professor*, que acompanham os livros didáticos, é clara a preocupação do autor a respeito da inserção do conteúdo Difração e Interferência no ensino médio, como o manifestado por Gaspar: ... "o conhecimento da óptica ondulatória é essencial, sobretudo para a compreensão das idéias físicas modernas".

Os PCN's propõem uma nova prática na educação, mais aplicada ao cotidiano do estudante, por isso, o professor é convidado a repensar sua prática docente, indo em busca de novas metodologias e abordagens no ensino, o que inclui absorver novos recursos e alternativas para suas aulas. Os PCN's sugerem que sejam considerados fenômenos que são familiares aos estudantes e os estimulem a um comportamento indagador e investigativo para que possam compreender e interagir com a realidade.

Acreditamos que a mudança dos livros didáticos surgiram em virtude das exigências dos PCN's, que orientam para uma abordagem mais prática da Física, para que o estudante realmente faça proveito dos conceitos da Física ao lidar com situações reais, e os utilize como uma ferramenta a mais em suas formas de pensar e agir.

² PCN's: Parâmetros Curriculares Nacionais.

Nas revistas analisadas, foram encontrados artigos interessantes, embora em pouca quantidade, os quais exploram demonstrações e atividades direcionadas ao Ensino Médio com material de baixo custo, de fácil aquisição e prática montagem para demonstrações nas aulas.

Citamos alguns artigos como: “*A montagem de Young no estudo da Interferência, Difração e Coerência de Fontes Luminosas*” (Braun e Braun, 1994); no qual, os autores discutem o fenômeno observado por Young e sugerem uma montagem em que se obtém o mesmo resultado que foi encontrado por Young.

Em “*Laboratório Caseiro: Transformando um Laser de Diodo para Experimentos de Óptica Física*” (Catelli e Vicenzi, 2002), é descrita uma série de experimentos de difração, como difração em fendas, em fios, em orifícios, em CD's e em telas de serigrafia, que podem ser realizados com o laser de diodo, comumente encontrado no comércio.

No artigo “*Laboratório Caseiro: Registros de Figuras de Difração da Luz em Papel Fotográfico*” (Galli e Salami, 1999), os autores realizam um registro da difração produzida pela sombra de objetos como lâminas de barbear, pregos e outros materiais.

Os artigos “*Observando espectros luminosos- espectroscópio portátil*” (Catelli e Pezzini, 2004) e “*Um espectroscópio simples para uso individual*”. (Garcia e Kalinowsski, 1995), descrevem atividades muito interessantes: no primeiro, a construção de um espectroscópio utilizando um pedaço de CD como rede de difração e uma caixa de creme dental, material que todo estudante tem em casa e no segundo, uma outra versão de um espectroscópio e além da descrição de um espectrômetro para também realizar algumas medidas.

Na internet, localizamos uma variedade de materiais, entre aplicativos e hipertextos, relacionados ao assunto difração e interferência, os quais encontram-se destacados na tabela 01 no capítulo IV. Utilizamos alguns deles na íntegra, com as devidas autorizações e licenças, durante a aplicação do projeto e no roteiro elaborado.

Outros aplicativos, para os quais não obtivemos licença para copiar e disponibilizar em um servidor local, ou em CD, também foram utilizados, acessando-os diretamente através do seu endereço original da Internet.

Utilizamos *clips do TV Escola* que, apesar de sua simplicidade (o material é destinado a estudantes do Ensino Fundamental), foram importantes para introduzir o assunto “Ondas” e iniciar uma discussão a respeito do que é onda, suas características e propriedades.

Nossa contribuição iniciou por uma seleção de experimentos e atividades relativos ao tema, descritos na literatura e Internet, em especial aqueles que descrevem experimentos com material de baixo custo e de fácil aquisição, bem como os que reforçam a motivação dos alunos em trabalhar com os experimentos.

No entanto, no ensino de segundo grau, a grande maioria do tempo dedicado a esse tópico cobre apenas aspectos geométricos, com pouca penetração em óptica ondulatória e praticamente nada em óptica moderna. O desenvolvimento da matéria é ainda prejudicado pela falta de atividades experimentais, devido ao despreparo dos laboratórios de ensino. Poucas escolas possuem laboratórios equipados para a

realização de experiências clássicas como aquelas ligadas á interferência, dispersão e difração da luz, determinação de espectros, estudos de raios espectrais, etc...
(GARCIA e KALINOWSSKI, 1995, p. 135).

A partir desta seleção completamos e, na medida do possível, melhoramos o material, elaborando roteiros de atividades para o professor do ensino médio, em conformidade com a nossa proposta e referencial teórico. Na elaboração desses roteiros exploramos os recursos de hipermídia (applets, aplicativos, hipertextos) selecionados da Internet e uma simulação de difração construída em Flash por Felipe Medeiros Macedo, aluno de uma das turmas em que o projeto foi aplicado, o qual sentiu-se motivado em aplicar seus conhecimentos de informática nos assuntos abordado nas aulas de Física.

CAPÍTULO III

REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, descrevemos de forma sucinta, a teoria de aprendizagem utilizada, a qual serviu de base teórica no desenvolvimento deste trabalho.

III.1. Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel.

O trabalho está alinhavado a partir da teoria de aprendizagem, do teórico cognitivista, David Ausubel³. A idéia central de Ausubel está baseada na “*Aprendizagem significativa*”, que consiste na interação entre o conhecimento novo e o prévio, (ou como Ausubel define conceito prévio de “*conceito subsunçor*”⁴). É um processo que consiste na relação de uma nova informação a um aspecto relevante da estrutura cognitiva do estudante, ou seja, é a interação da nova informação com uma estrutura de conhecimento específico.

Segundo Ausubel, a aprendizagem se efetiva a partir da relação entre o conhecimento novo e o já existente na estrutura cognitiva do aprendiz. Assim, novas idéias e informações podem ser aprendidas e retidas dessa forma funcionando como “ponto de ancoragem a novos conceitos”. A aprendizagem significativa ocorre quando a nova informação ancora-se em conceitos pré-existentes na estrutura cognitiva do estudante.

A aprendizagem significativa caracteriza-se, pois, por uma interação (não por uma simples associação) entre os aspectos específicos e relevantes da estrutura cognitiva e as novas informações, por meio da qual essas adquirem significado e são integradas à estrutura cognitiva de maneira não arbitrária e não literal, contribuindo para a diferenciação, elaboração e estabilidade dos subsunçores preexistentes e, conseqüentemente, da própria estrutura cognitiva. (MOREIRA, 1999b, p. 13).

A *aprendizagem significativa* não pode ser entendida por “aquilo que a gente nunca esquece” ou “que a gente gosta”, mas por um processo que envolve a interação entre a nova informação e a estrutura do conhecimento do estudante.

Ausubel admite a necessidade da aprendizagem mecânica, principalmente quando o estudante adquire informações em uma área do conhecimento nova para ele, até o momento que estes novos elementos do conhecimento sirvam de subsunçores para a ancoragem de novos conceitos e a aprendizagem passe a ser significativa. A partir dessa etapa, os conceitos tornam-se mais elaborados e, portanto capazes de ancorar novas informações.

³ Ausubel é professor Emérito da Universidade de Columbia, em Nova Iorque. É médico - psiquiatra de formação, mas dedicou sua carreira acadêmica à psicologia educacional. Ao aposentar-se, há vários anos, voltou à psiquiatria. (MOREIRA, 1999, p. 151).

⁴ A palavra subsunçor não existe em português; trata-se de uma tentativa de aporuguesar a palavra inglesa “subsumer”. Seria mais ou menos equivalente a inseridor, facilitador ou subordinador.

Também sugere o uso de organizadores prévios (materiais introdutórios apresentados antes do material aprendido em si), que servem de âncora para a nova aprendizagem e promovem o desenvolvimento de conceitos subsunçores, facilitando assim a aprendizagem significativa.

Segundo o próprio Ausubel, no entanto, a principal função do organizador prévio é a de servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que ele deve saber, afim de que o material possa ser aprendido de forma significativa, ou seja, organizadores prévios são úteis para facilitar a aprendizagem na medida em que funcionam como "pontes cognitivas". (MOREIRA, 1999a, p. 155).

Ausubel sugere, além disso, como condições necessárias para a ocorrência da aprendizagem significativa, que:

- O material deve ser *potencialmente significativo*⁵, ou seja, o material deve ser incorporável à estrutura cognitiva do aprendiz.
- O estudante deve ter *pré-disposição a aprender* e relacionar o novo material (potencialmente significativo), à sua estrutura cognitiva.

As idéias de Ausubel foram continuadas por seus seguidores, especialmente Novak e colaboradores⁶. Joseph Novak trabalhou com o conceito de aprendizagem significativa utilizando duas estratégias para a sua facilitação. O mapeamento conceitual é uma delas.

O mapa conceitual, desenvolvido por Novak e seus colaboradores, está fundamentado no princípio da diferenciação conceitual progressiva de Ausubel. Além disso, visa explorar as relações entre conceitos, o que Ausubel denomina de *reconciliação integrativa*: deixar explícito como os conceitos subordinados estão relacionados com o conceito mais inclusivo. Os mapas conceituais consistem em diagramas bidimensionais que representam relações hierárquicas de certa estrutura conceitual.

Ausubel vê o armazenamento de informações no cérebro humano como sendo organizado, formando uma hierarquia conceitual, na qual elementos mais específicos de conhecimento são ligados (e assimilados) a conceitos mais gerais e mais inclusivos. (MOREIRA, 1999a, p. 153).

De forma geral, os mapas conceituais podem ser utilizados como instrumentos de ensino/aprendizagem, avaliação e como recurso para análise do conteúdo. Sempre pensados como uma forma de "negociar significados" (Moreira, 1992), pois promovem a troca de significados entre professores e alunos por ser uma representação aberta dos conceitos que o estudante tem.

Portanto, o uso de mapas conceituais como instrumentos de avaliação implica uma postura que, para muitos, difere da usual. Na avaliação através de mapas conceituais a principal idéia é a de avaliar o que o aluno sabe em termos conceituais, isto é, como ele estrutura, hierarquiza, diferencia, relaciona, discrimina, integra, conceitos de uma determinada unidade de estudo, tópico, disciplina, etc... (MOREIRA, 1992, p. 12).

⁵ O material Potencialmente Significativo caracteriza-se por ser relacionável ou incorporável à estrutura cognitiva do aprendiz, de maneira arbitrária e não literal. Essa condição não é por si só suficiente, o aprendiz deve ter disponível em sua estrutura cognitiva os subsunçores adequados.

⁶ A rigor, portanto, a "teoria de Ausubel" deveria ser, hoje, "teoria de Ausubel e Novak" ou "teoria de aprendizagem significativa de Ausubel e Novak". (MOREIRA, 1999a, p. 167).

III.2. Referenciais teóricos incorporados no projeto.

O projeto foi pensado na perspectiva ausubeliana, a qual identifica quatro tarefas fundamentais do professor para a facilitação da aprendizagem significativa:

1. Identificar os subsunçores relevantes ao conteúdo a ser ensinado, para que o estudante aprenda significativamente o conteúdo. É importante que o aluno tenha uma noção geral sobre ondas, conhecendo suas características e propriedades, antes de deter-se com profundidade no assunto difração e interferência e discutir suas aplicações. Nesta etapa, o mapa conceitual foi um instrumento importante para o diagnóstico, com o estudante sendo estimulado a mostrar no mapa tudo que sabe sobre ondas e conceitos ligados a ondas.
2. Acompanhar a “evolução” da aprendizagem dos alunos através da construção de mapas conceituais logo após a introdução de novos conteúdos (conforme descrito no item 1). Dessa forma, é possível verificar o que o estudante conhece ou qual a idéia que possui acerca do conteúdo como também direcionar o trabalho, ou seja, se a metodologia deve ser repensada, se devem ser incorporados outros recursos para facilitar a aprendizagem, como simulações, demonstrações, exercícios entre outros. Para verificar se os novos conceitos estão sendo “ancorados” ao conhecimento prévio é importante também, dar continuidade à construção de mapas conceituais no desenvolver das atividades.
3. Identificar conceitos e princípios unificadores, estabelecendo relações e organizando hierarquicamente (do mais inclusivo até chegar nos exemplos). A cuba de ondas será o material utilizado para explorar estes conceitos, desde o conceito de ondas, o fato de provocar ondas com um conta-gotas, que forma uma figura conhecida pelos estudantes, possível de ser observada no seu dia-a-dia e que de repente, até por brincadeira, já provocam ondas em lagos ou poças, jogando uma pedrinha. A propriedade das ondas de contornarem obstáculos (difração) será explorada inicialmente na cuba, colocando obstáculos e fendas para explorar o efeito. A interferência também será explorada na cuba de ondas.
4. Auxiliar o estudante a assimilar a estrutura do conteúdo e organizar sua própria estrutura cognitiva por meio da aquisição de informações que sejam significativas ao estudante (dados claros), que lhes permitam ancorar as novas informações aos seus conceitos subsunçores.

CAPÍTULO IV

METODOLOGIA

De acordo com o referencial teórico, durante a elaboração e aplicação do projeto, procuramos promover:

- O estudo dos fenômenos de difração e de interferência explorando ao máximo os experimentos.
- O uso didático de simulações e aplicativos de computador como organizadores prévios e facilitadores da aprendizagem significativa, e também em suplementação às atividades experimentais.
- Utilização de mapas conceituais, como instrumentos didáticos de ensino/aprendizagem, de avaliação e análise dos conhecimentos prévios dos alunos.

Os mapas conceituais constituíram-se em importante instrumento para mostrar as relações entre os conceitos que estavam sendo ensinados, para obter informações sobre a visão do estudante para aquele determinado conjunto de conceitos e investigar se estava havendo mudanças nas estruturas cognitivas dos estudantes durante a instrução.

A realidade da escola em que o projeto foi aplicado também foi um fator determinante para defini-lo. Sabendo que são várias as instituições escolares, como a nossa, que não dispõe de materiais de laboratório e laboratório de informática, procuramos selecionar materiais de baixo custo e fácil aquisição para incentivar a realização de demonstrações em sala de aula.

Nas aulas, os experimentos foram realizados pela professora, buscando sempre a participação ativa dos estudantes. Sempre que possível, as demonstrações experimentais eram complementadas com a apresentação de alguma simulação relacionada ao tema, seguida de posterior discussão. Em alguns momentos, as simulações eram utilizadas como organizadores prévios e em outros, para reforçar a discussão do experimento.

No final de cada aula, os estudantes eram solicitados a elaborar mapas conceituais sobre o tema tratado, incluindo todo o conteúdo já discutido nas aulas anteriores. Ou seja, após cada aula os estudantes deveriam atualizar o seu mapa conceitual sobre o conteúdo estudado até o momento. Também eram entregues listas de exercícios, para os estudantes aprofundarem sobre o conteúdo visto em aula. Alguns exercícios da lista eram feitos como exemplo e os demais deveriam ser realizados pelos estudantes, consultando o material (livros, CD e outros). No total foram feitas seis listas de exercícios.

Após a série de aulas interativas, os estudantes responderam a um questionário sobre o que achavam da nova metodologia, principalmente sobre o uso de demonstrações, simulações e mapas conceituais.

Ainda nessa aula, os estudantes fizeram uma avaliação individual. A intenção desta, não era de avaliar o projeto, mas sim verificar o que o estudante captou e como relacionava as informações. Foi oferecida recuperação aos estudantes que não tiveram resultados satisfatórios, conforme consta no regimento da escola.

Na última etapa, os alunos se reuniram em grupos de quatro ou cinco componentes, escolheram uma demonstração experimental para desenvolver e apresentar aos demais colegas em um mini seminário apresentado por cada grupo. Adicionalmente cada grupo entregou um relatório escrito sobre este trabalho.

Nas seções seguintes deste capítulo, relatamos como o projeto foi estruturado e implementado.

IV. 1 Escola Estadual de Ensino Médio Apolinário.

O projeto foi aplicado nas duas turmas de terceiro ano da Escola Estadual de Ensino Médio Apolinário Alves do Santos, em Caxias do Sul. A turma 301 possui 32 alunos e a turma 302 possui 30 alunos. No decorrer do projeto dois alunos da turma 301 foram transferidos de escola e uma aluna da turma 302 trocou de turno na mesma escola, não finalizando o projeto.

A escola em que o projeto foi aplicado oferece 2 períodos semanais com 50 minutos de duração cada, para a disciplina de Física. A escola dispõe de uma sala de DVD, uma sala com 5 computadores sem acesso a Internet, um laboratório de Física e Química e 2 retro-projetores.

Quando as turmas em que o projeto foi aplicado estavam no primeiro ano do ensino médio, o livro de física adotado pela escola era *Física Fundamental* (Bonjorno et al., 1999), o qual foi adquirido pelos estudantes. No ano seguinte, a escola passou a adotar o livro *Física série Brasil* (Gaspar, 2004), mas os estudantes mantiveram o livro do Bonjorno, porém sempre consultaram outras bibliografias, principalmente durante as aulas do projeto.

Embora a escola possua um laboratório de Física e Química, os materiais disponíveis para trabalhar as aulas de Física são escassos e precários. O que existe é “o espaço físico” laboratório. A direção da escola encontra dificuldades para aquisição de materiais para o laboratório. Esta situação também nos motivou a selecionar experimentos que utilizassem material de fácil acesso e baixo custo, de forma que o próprio professor possa adquiri-lo ou construí-lo. O outro motivo é apresentar experimentos de difração e interferência que possam ser produzidos sem a necessidade de laboratórios com arsenal tecnológico mais sofisticado.

Do mesmo modo, foi pensando na necessidade de inserir o aluno no contexto da mecânica ondulatória, portal de entrada da física moderna e, levando em conta a falta de estrutura que algumas instituições escolares enfrentam, preparamos para os professores de Física, um material instrucional

sobre o tema, que inclui uma descrição detalhada dos experimentos selecionados para o projeto e uma relação de animações e simulações, acessíveis a partir da Internet, relacionados aos conceitos físicos envolvidos nos experimentos. Disponibilizamos este material no servidor Wiki do Instituto de Física da UFRGS. Este material instrucional, apesar de ter sido desenvolvido como material de apoio ao professor, pode ser utilizado como material de consulta por parte dos estudantes.

A situação da escola foi determinante no momento de definir o projeto, por isso o material foi preparado para o professor. No entanto, na aplicação da proposta na Escola E. de E. M. Apolinário, foi entregue aos estudantes um CD com o material do hipertexto para que os mesmos pudessem fazer consultas para melhor acompanhar as aulas, resolver os exercícios e analisar as simulações. Porém, em casa, a maioria dos alunos não tinha acesso à Internet e alguns nem possuíam microcomputador. Independente deste fator alguns alunos procuravam amigos ou parentes para acessar o CD e tomar conhecimento do conteúdo.

A Escola E. E. M. Apolinário está localizada a poucas quadras da Universidade de Caxias do Sul (UCS). Esta situação tem possibilitado que os alunos da escola usufruam freqüentemente da infra-estrutura da Universidade, através de visitas à biblioteca, museu e laboratórios. Esta afinidade entre a Escola e a UCS possibilitou também, através de acordo entre a Direção da Escola e a Chefia do Departamento de Física da UCS, que parte do projeto fosse executado em um ambiente da Universidade, equipado com acesso à Internet, computador e projetor, recursos estes que não estariam disponíveis na Escola.

As aulas de Física aconteciam nos primeiros períodos da manhã (07h30min – 09h10min), nas terças – feiras para a turma 302 e nas quintas – feiras para a turma 301. Nos dias que tinham aulas de Física, ao invés de irem para a escola, os alunos se dirigiam diretamente à Universidade.

IV. 2 Organização do Conteúdo.

O material instrucional sobre o conteúdo apresentado durante o projeto foi elaborado e publicado na Internet através de um editor Wiki, disponibilizado em um servidor Web do Instituto de Física da UFRGS. A organização do material instrucional deu início com a elaboração de um “roteiro de aulas” que culminou no hipertexto “Ondas”, disponível no endereço: <http://davinci.if.ufrgs.br/wiki/>. Este material se encontra como anexo nesta dissertação, no **apêndice A**.

Este material instrucional foi desenvolvido como material de apoio ao professor da disciplina, no entanto pode ser também utilizado como material de consulta pelos alunos. O material proposto contém um texto básico sobre todo o conteúdo tratado ao longo do projeto e alguns textos adicionais relacionados com o tema. Junto ao material está uma descrição completa e detalhada dos experimentos desenvolvidos ao longo do projeto e uma descrição das animações e aplicativos utilizados no projeto.

Neste hipertexto estão reunidos: textos, figuras, imagens, animações, e simulações, descrições das atividades práticas e descrições de demonstrações para serem realizadas na sala de

aula, questões e textos complementares, contendo informações extras de conteúdos ligados ao tema principal do projeto “Difração e Interferência”.

A elaboração desse material instrucional passou pelas seguintes etapas:

- Seleção dos tópicos que são pré-requisitos para o estudo da difração e interferência como o conceito de onda e características das ondas.
- Seleção de simulações e animações disponíveis na Internet.
- Desenvolvimento de um texto ilustrado com figuras e animações para acompanhar cada tópico.
- Seleção e aprimoramento das atividades práticas experimentais.
- Organização do material elaborado na Wiki do Instituto de Física.

A figura 01 mostra a página inicial do hipertexto.



The screenshot shows the Wikipedia page for "Ondas" (Waves) on the Wiki do Instituto de Física da UFRGS. The page title is "Ondas" and it includes a navigation menu, a search bar, and a main text area. The main text discusses the nature of waves, their propagation, and their characteristics. It mentions that waves are oscillations that propagate through space and time, and that they can be observed in various forms, such as water waves, sound waves, and electromagnetic waves. The page also includes a diagram of a wave pulse and a photograph of a stone dropped into water, illustrating wave propagation. The page is structured with a navigation menu on the left, a search bar, and a main text area with a table of contents at the bottom.

Figura 01 – Página inicial do hipertexto “Ondas” disponível na Wiki do Instituto de Física da UFRGS.

O texto introdutório da página inicial já dá uma noção do que vem a ser uma onda, além de fornecer um histórico a respeito da importância do estudo de ondas e da física ondulatória para compreender fenômenos do cotidiano, desde o início da vida na Terra até a mais moderna tecnologia. O material publicado explora fortemente a característica de hipertexto dos editores Wikis,

ou seja, cada conceito relevante para o tema discutido gera uma conexão (*hiperlink*) para uma nova página, onde o conceito é explicado.

No hipertexto de apresentação estão enfatizados como hiperligação os principais tópicos do material, como: Propriedades e Características (das ondas), Superposição, Interferência, Difração, Princípio de Huygens, Fenda Dupla e Redes de Difração.

Em “**Propriedades e Características**”, são abordadas todas as informações a respeito da característica das ondas como natureza, direção de propagação, direção de vibração e elementos da onda como crista, vale, período, frequência, amplitude, comprimento de onda e velocidade da onda. Neste mesmo tópico o estudante tem a possibilidade de acessar uma página sobre **polarização** para compreender melhor esta propriedade das ondas.

No tópico “**Superposição**”, é discutido o fenômeno a partir da propriedade de reflexão de ondas, é utilizado o exemplo de ondas numa corda para discutir a reflexão em extremidades livres ou fixas. Discutem-se os resultados da superposição como interferência construtiva e destrutiva, ondas estacionárias e batimentos.

Em “**Interferência**” o texto introdutório aborda aspectos históricos da natureza da luz: onda ou partícula? No desenrolar do texto, surgem títulos que remetem a outras páginas como “**interferência em filmes finos**”, “**Interferômetro de Michelson**” e “**Interferômetro de Mach Zender**”.

No tópico “**Difração**”, é feita uma discussão a respeito da propriedade das ondas de transpor fendas e obstáculos. No mesmo texto, palavras chaves remetem a novas páginas com conteúdos e informações específicas a respeito de “**difração em sombras**”, “**difração em fendas**”, “**difração em fios**” e “**difração em orifícios**”.

Em “**Princípio de Huygens**”, é apresentado o modelo semi-quantitativo proposto por Huygens que explica satisfatoriamente o comportamento das ondas ao passar por obstáculos ou barreiras. Também apresenta o princípio aplicado na reflexão e refração das ondas (figura 02).

Em “**Fenda dupla**”, é retomado o conceito de interferência construtiva e destrutiva para analisar o experimento de Young e compreender historicamente a importância do experimento. É discutido o assunto **coerência**, onde as condições necessárias para que se observe um padrão estável de interferência são apresentadas.

No tópico “**Redes de difração**”, é estudado o que vem a ser uma rede de difração, suas propriedades e aplicações. São mostrados como exemplo materiais encontrados no nosso cotidiano que podem ser considerados redes de difração, como CD, DVD, penas de galinha. Faz-se um estudo sobre o padrão de difração que é obtido através da rede e sobre o uso de redes em espectroscópios

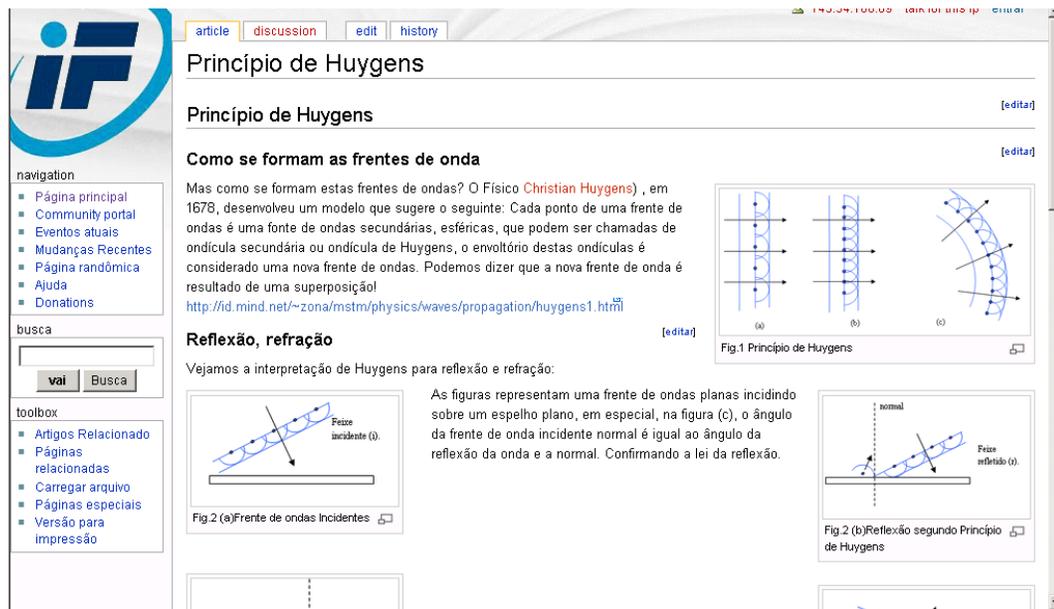


Figura 02 – Página referente ao assunto Princípio de Huygens.

Logo abaixo do texto principal em cada página é apresentada uma lista de hiperligações que remetem a algumas páginas que tiveram um papel especial em nosso projeto (figura 03), como:

- **“Faça em aula!”** Apresenta uma variedade de demonstrações para serem feitas em aula. Inclui a descrição detalhada dos experimentos de baixo custo que foram demonstrados em aula.
- **“Tem que resolver!”** Apresenta uma lista de exercícios e problemas para cada tópico do assunto.
- **“Para visitar!”** Há uma relação de sítios com textos, figuras e animações, incluindo as animações que foram apresentadas em aula durante o projeto.
- **“Textos complementares”:** Para quem procura aprofundamento em algum assunto que esteja ligado ao tema. Textos disponíveis são: **“Matemática da onda”** descreve a função seno da onda; **“Matemática da interferência”** e **“Matemática da Difração”** que descrevem, respectivamente, a dedução da equação a partir dos padrões que surgem no anteparo; **“laser”**, uma vez que na maioria dos experimentos utilizamos o laser, este texto esclarece a respeito do funcionamento de um laser; **“A Física do Surf”**, remete a links que explicam que tipo de onda um surfista pega, tenta esclarecer a pergunta padrão que os alunos fazem: Onda não transporta matéria e por que, então, transporta o surfista?; **“Raio X”**, explica a descoberta, o funcionamento e aplicações do RX. O subtítulo **“Difração de RX”** relata a utilização de cristais como rede de difração de Raio X e sua utilização na ciência e tecnologia.

The image shows a screenshot of a web page titled "Ondas" (Waves). It features several sections, each with a blue header and an "editar" (edit) link to its right. The sections are: "Faça em aula!" (Do in class!) with the text "Aqui você encontra diversas demonstrações para tornar a aula mais interativa."; "Tem que resolver!" (You have to solve!) with the text "Testes seus conhecimentos resolvendo os exercícios."; "Para visitar!" (To visit!) with the text "Sugestão de sitios interessantes com textos, imagens e aplicativos."; "Textos complementares." (Complementary texts.) with a numbered list of links: 1. Matemática da Onda, 2. Matemática da Interferência, 3. Matemática da Difração, 4. Laser, 5. A Física do Surf, 6. Raio X, and a sub-link 1. Difração de Raio X; and "Referências" (References) with the text "Para desenvolver este material consultamos...".

Figura 03 – Página inicial do hipertexto “Ondas” com opções para exercícios, demonstrações e outros textos.

IV. 3 Organização das Animações.

Acreditamos que a animação interativa possa ser aplicada com um duplo viés. Por um lado ela será o contraste que possibilitará a radiografia da estrutura cognitiva dos estudantes; por outro lado, atuará como uma ponte entre o que eles conhecem e o conteúdo a ser aprendido. (TAVARES e SANTOS, 2003, p. 5).

Muitos dos conceitos físicos que descrevem fenômenos da natureza demandam do aluno ou de qualquer observador um alto grau de abstração. Isto decorre em geral do fato que estes fenômenos não fazem parte de maneira visível ou consciente da nossa vivência diária, seja pelo seu caráter microscópico ou devido a qualquer outro fator de configuração que foge às dimensões acessíveis aos nossos sentidos. Como conseqüência não se criará na estrutura cognitiva do observador/aprendiz uma base de conhecimentos prévios, ou subsunçores adequada para a evolução do aprendizado destes conceitos. Muitas vezes a base de conhecimentos prévios formada corresponderão mais a conceitos alternativos, ou seja, que não descrevem corretamente a realidade. Os modernos recursos trazidos pelas TICs⁷, em especial as animações, nos põem na mão ferramentas valiosas para superar estes tipos de dificuldades nos processos de aprendizagem. Ainda segundo Tavares:

O uso integrado de mapa conceitual, animação interativa e texto se configura como uma estratégia pedagógica consistente com a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, além de se apresentar como uma possibilidade instrucional que utiliza de uma maneira natural as possibilidades oferecidas pelo computador e internet (Tavares, 2005, p.8).

⁷ Tecnologias de Informação e Comunicação.

Com uma animação podemos visualizar e analisar em diversas situações como ocorre e quais as implicações para cada resultado e uma simulação. Possibilita a escolha de diversas alternativas (parâmetros) ou condições iniciais para o evento simulado e visualiza as diversas possibilidades de evolução, as quais nem sempre são possíveis reproduzir no laboratório ou em sala de aula.

A simulação pode funcionar como um organizador prévio, pelo fato de modificar e ampliar os conceitos subseqüentes quando o aluno modifica as condições iniciais, observa as respostas, relaciona os acontecimentos na simulação e compara as grandezas.

Mostramos na figura 04, como exemplo, a tela de uma simulação sobre Interferência da dupla fenda. O estudante pode modificar os dados como comprimento de onda, espaçamento entre as fendas ou os ângulos. Facilitando o processo de entendimento dos novos conceitos.

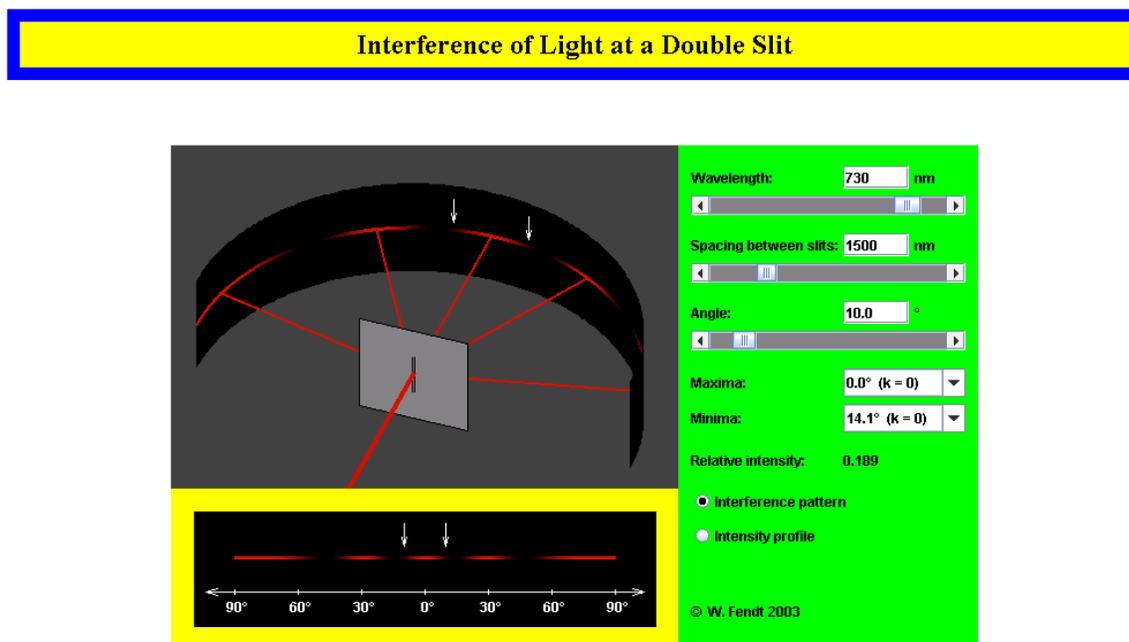


Figura 04 – Tela de um simulador.
Fonte: FENDT, W. - <http://www.walter-fendt.de/ph14br/doubleslit.html>

Optamos por selecionar e melhorar a forma de explorar as simulações disponíveis na rede, uma vez que criar uma simulação requer um bom nível de conhecimento de informática.

Pelo fato da escola não ter disponíveis computadores ou projetor, as simulações nunca puderam ser trabalhadas em aula. A professora indicava endereços para os estudantes que tinham acesso à internet. Com a aplicação do projeto na universidade, as simulações foram apresentadas aos alunos durante as aulas. Para eles, a novidade foi motivadora. Numa escola onde os estudantes tenham acesso ao computador vale a pena deixá-los, de acordo com seu ritmo, explorar os conceitos ao interagir com as simulações. A tabela 1 apresenta os simuladores consultados e utilizados em aulas.

Tabela 01 - Apresenta os simuladores consultados e utilizados durante a aplicação do projeto.

Conteúdo	Endereço	Descrição	Utilizada no projeto	
			Sim	Não
O que é uma onda?	[1] http://www.kettering.edu/~drussell/Demos/waves-intro/waves-intro.html (Gif animado)	Mostra representações de propagação de ondas, como: sonoras, numa corda e “ola”.	x	
	[2] TV Escola: De onde vem a Onda? (Vídeo)	Mostra uma menina e um peixe conversando sobre de onde vem a onda.	x	
Formação das ondas	[3] http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/viewtopic.php?t=35 (Java)	Mostra a formação das ondas, assim como que a onda não transporta matéria somente energia.		x
Ondas transversais e longitudinais	[4] http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/viewtopic.php?t=30 (Java)	Simula ondas transversais e longitudinais.	x	
Reflexão de ondas na corda.	[5] http://www.kettering.edu/~drussell/Demos/reflect/reflect.html (Gif animado)	Apresenta a propriedade da reflexão.	x	
Superposição de ondas	[6] http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/viewtopic.php?t=35 (Java)	Demonstra o efeito da superposição: a soma, cancelamento e regiões intermediárias resultantes do encontro de duas ondas. Também é possível trabalhar ondas estacionárias e batimentos.	x	
	[7] http://www.kettering.edu/~drussell/Demos/superposition/superposition.html (Gif Animado)	Demonstra a interferência construtiva e destrutiva. (resultado da superposição)	x	

Conteúdo	Endereço	Descrição	Utilizada no projeto	
			Sim	Não
Princípio de Huygens	[8] http://id.mind.net/~zona/mstm/physics/waves/propagation/huygens3.html (Java)	Apresenta a formação das ondas pelo princípio de Huygens.	x	
	[9] http://www-outreach.phy.cam.ac.uk/camphy/xraydiffraction/xraydiffraction4_1.htm	Apresenta a formação das ondas pelo princípio de Huygens.		x
Reflexão e Refração de ondas segundo o princípio de Huygens.	[10] http://www.walter-fendt.de/ph11br/huygenspr_br.htm (Java)	Apresenta a reflexão e refração das ondas segundo o princípio de Huygens. Esta simulação possui um texto auto-explicativo.	x	
	[11] http://www.kettering.edu/~drussell/Demos/refract/refract.html (Gif animado)	Mostra como o comprimento de onda é modificado, quando o meio onde a onda se propaga modifica-se.	x	
Interferência	[12] http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/viewtopic.php?t=31	Apresenta o padrão de interferência de duas fontes que oscilam na mesma fase. Ainda clicando com o botão esquerdo obtêm-se medidas, como por exemplo, do ângulo entre dois raios que interferem.		x
	[13] http://www.walter-fendt.de/ph11br/interference_br.htm (Java)	Apresenta o padrão de interferência de duas fontes que vibram na mesma fase. É possível observar a interferência construtiva e destrutiva. A interferência construtiva é marcada pela linha vermelha. Pode-se variar a distância entre as duas fontes e o comprimento de onda. Também pode deixar a simulação em câmera lenta.		x
	[14] http://lectureonline.cl.msu.edu/~mmp/kap13/cd371.htm (Java)	Apresenta o padrão de interferência. Duas ondas esféricas interferem, ao movimentar uma delas horizontalmente.		x

Conteúdo	Endereço	Descrição	Utilizada no projeto	
			Sim	Não
Fenda Dupla	[15] http://vsg.quasihome.com/interf.htm (Java)	Observar o padrão de interferência e o gráfico de intensidade. Nessa simulação, o comprimento de onda, a distância entre as fendas e a distância das duas fendas até o anteparo podem ser variadas.		x
	[16] http://www.walter-fendt.de/ph14br/doubleslit.html (Java)	Observar o padrão de interferência e o gráfico de intensidade. Nessa simulação, o comprimento de onda, a distância entre as fendas e a distância das duas fendas até o anteparo podem ser variadas	x	
Difração	[17] http://www-outreach.phy.cam.ac.uk/camphy/xraydiffraction/xraydiffraction3_1.htm	Apresenta simulações de difração em obstáculos e fendas.		x
	[18] http://www.lon-capa.org/~mmp/kap27/Gary-Diffraction/app.htm (Java)	Apresenta um gráfico do padrão de difração. Esse se modifica conforme é variado o comprimento de onda e/ou a abertura da fenda.	x	
Pontilhismo e difração	[19] http://www.if.ufrgs.br/cref/aplicativos/pontilhismo.htm	Apresenta o efeito da difração na formação das imagens no olho humano	x	

<i>Conteúdo</i>	<i>Endereço</i>	<i>Descrição</i>	<i>Utilizada no projeto</i>	
			<i>Sim</i>	<i>Não</i>
	[20] http://www.physics.uoguelph.ca/applets/Intro_physics/kisalev/java/slitdiffr/index.html (Java)	Observar o padrão de difração e o gráfico de intensidade. Nessa simulação, o comprimento de onda e/ou a abertura da fenda podem ser modificadas.	x	
Múltiplas fendas	[21] http://www.physics.northwestern.edu/ugrad/vpl/optics/diffraction.html (Java)	Apresenta o padrão de difração e interferência combinados. O padrão vai variando conforme alteramos o número de fendas da rede de difração.	x	
	[22] http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/mulslidi.html#c4 (gráficos – Figuras estáticas)	Apresenta graficamente o padrão de difração/ interferência obtidos, conforme aumenta o número de fendas na rede de difração.	x	

IV. 4 Organização do Material Experimental.

O material experimental para a realização das demonstrações é todo de baixo custo, podendo ser adquirido pela escola ou pelo professor, o qual pode facilmente adaptá-lo na montagem dos experimentos.

Com um investimento em torno de R\$ 10,00 a R\$ 18,00 o professor pode adquirir em mercados ou ferragens, refratários para utilizar como cuba de ondas ou construí-la com retalhos de acrílico como mostra a figura 05.

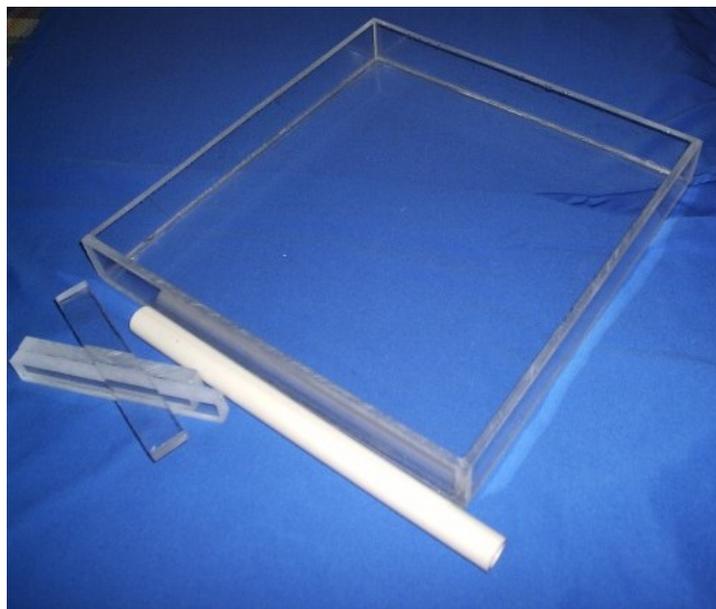


Figura 05 – Cuba de ondas.

Para os experimentos de difração ou interferência com luz, o professor investe até R\$ 10,00, na aquisição do laser diodo e suportes para montagem, conforme mostra a figura 06. Os detalhes para a montagem de cada um dos experimentos demonstrados em aula, encontram-se anexo a essa dissertação, no **apêndice A**.

... parece mesmo que o que mais marca os estudantes são mesmo os fenômenos que emanam dos experimentos; eles são invariavelmente curiosos, provocantes, inesperados. (CATELLI e VICENZI, 2002, p. 404).

As demonstrações com material de baixo custo sempre fizeram parte das aulas (das turmas 301 e 302) antes mesmo da aplicação do projeto, porém, não com tanta frequência quanto na aplicação do mesmo. Houve sempre grande participação dos alunos, que valorizam muito este tipo de atividade. A tabela 02 mostra os experimentos demonstrados em aula.

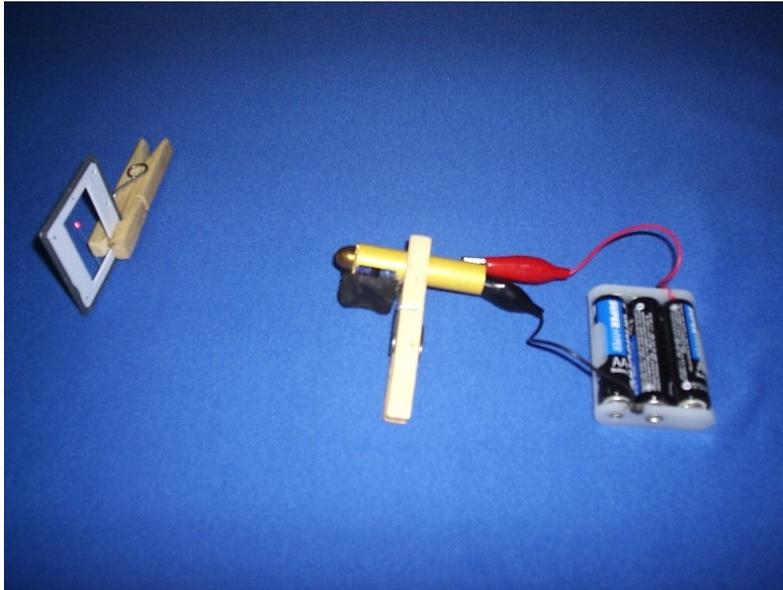


Figura 06 – Adaptação do laser diodo para as demonstrações.

Tabela 02 – Experimentos demonstrados durante a aplicação do projeto.

<i>Experimento</i>	<i>Como foi utilizado</i>
[1] Produzindo Ondas	No laboratório, os estudantes ficaram lado a lado (enfileirados) fizeram o “ola” para representar ondas transversais e para representar ondas longitudinais, um a um inclinaram-se lateralmente até tocar no colega e voltar à posição inicial, assim sucessivamente.
[2] Cuba de ondas: produzindo ondas.	A cuba de ondas foi colocada sobre o retro-projetor. Foram produzidas ondas batendo com um cano na superfície ou pingando uma gota no centro da cuba.
[3] Ondas em cordas.	Foi utilizada uma corda para produzir ondas <i>transversais</i> e uma mola slink para ondas <i>longitudinais</i> e também transversais.
[4] Ondas Estacionárias	Também pode ser observada a reflexão. Fixando uma das extremidades, foram provocados vários pulsos para observar a reflexão. Aumentar a frequência dos pulsos até obter ondas estacionárias (pode ser feito com corda ou mola slink).
[5] Batimentos (o material utilizado nessa demonstração pertence à Universidade).	Foram utilizados dois diapasões de mesma frequência, em um deles acoplamos uma massa para variar consideravelmente sua frequência. Ao batermos com o martelinho em ambos diapasões, podemos escutar claramente os batimentos.
[6] Interferência em Bolhas de Sabão	Numa mistura de detergente e água, foi mergulhado um molde circular de arame. Ao retirar da mistura obtivemos bolhas de sabão, o que permitiu observar a interferência de filmes.
[7] Interferômetro de Michelson	Foi utilizado um material de baixo custo (óculos de sol, massa de modelar, laser de diodo...) para a montagem do interferômetro e observamos o resultado da interferência de dois feixes de laser combinados.
[8] Interferência na Cuba de ondas com os dedos	Na tentativa de observar o fenômeno da interferência construtiva e destrutiva, batemos ritmicamente com os dedos na água e projetamos o efeito. (como tínhamos o oscilador disponível na Universidade, também o utilizamos para observar a interferência).
[9] Interferência no retroprojektor.	Utilizamos duas lâminas com os discos concêntricos de diferentes comprimentos de onda (vermelho, verde e violeta) e o sobreponemos, a fim de detectar as regiões claras e escuras. Simulando a interferência.
[10] Cuba de ondas: Princípio de Huygens	Usamos a idéia do efeito resultante de uma pedra sendo lançada e atingindo a superfície da água. Se jogássemos várias pedras lado a lado e simultaneamente na água, veríamos uma frente de onda praticamente plana sendo formada. Discutimos o Princípio de Huygens a partir deste fenômeno (formação das frentes de onda).
[11] Difração em fendas	Fizemos uma fenda na tampinha e/ou tubo de filme para observar a difração.

<i>Experimento</i>	<i>Como foi utilizado</i>
[12] Difração em fios	Foram colocados vários obstáculos diante do feixe de laser para observar o fenômeno da difração, desde um apagador até um fio de cabelo. Ao substituir o fio por um bigode de gato (fio variável) podemos comparar os padrões de interferência entre as duas extremidades. Além de comparar e observar padrões de difração, utilizamos a equação da difração, que foi deduzida em aula, para medir a espessura de um fio de cabelo.
[13] Difração em Orifícios	Construímos um orifício no alumínio e incidimos o feixe de laser na direção do mesmo. O padrão de difração foi projetado no anteparo.
[14] Cuba de ondas: difração/ interferência.	Uma barra de acrílico foi colocada próximo ao centro da cuba, com o tubo PVC, provocamos frentes de ondas e observamos o comportamento. Substituímos por outros obstáculos e discutimos o fenômeno.
	Colocamos duas barras de acrílico formando uma abertura, com uma régua, provocamos frentes de onda e observamos como esta se comporta na abertura. Variamos a abertura da fenda e observamos o efeito.
	Deixando a cuba de ondas sobre o retro projetor e distribuindo três barras de acrílico de forma a obter duas aberturas, provocamos uma frente de onda (com uma régua). Observamos como esta se comporta ao passar pelas duas aberturas. Observamos, em especial, o “encontro” de duas ondas, a superposição, quando este “encontro” é reforçado ou anulado (e situações intermediárias) que são indicados como pontos mais claros e outros mais escuros. Dizemos que ocorreu uma interferência.
[15] Difração em sombras	Observamos figuras de difração na projeção da sombra (dos dedos) na parede.
[16] Reproduzindo a experiência de Young	Com um alfinete, foram feitos dois orifícios próximos, em um pedaço de alumínio recortado de uma lata de refrigerante. Ao serem colocados diante de uma lâmpada observa-se o padrão de interferência projetado diretamente no olho. Com um laser, incidindo nos dois orifícios e projeta-se o padrão em um anteparo.
[17] Cuba de ondas: difração	Uma barra de acrílico foi colocada próximo ao centro da cuba, com o tubo PVC, provocamos frentes de ondas e observamos o comportamento. Substituímos por outros obstáculos e discutimos o fenômeno.
[18] Construção de redes de difração e Medida da distância dos Sulcos do CD.	Utilizamos um CD como rede de difração e medimos (utilizando o efeito da difração) o espaçamento entre as linhas e o número de linhas por milímetro.

<i>Experimento</i>	<i>Como foi utilizado</i>
[19] Cores do CD	Projetamos as lâminas com diferentes comprimentos de onda (vermelho, verde e violeta) e as sobreposmos: primeiro a vermelha, em seguida a verde e logo após a violeta. Um estudante foi marcando alguns pontos onde, as interferências construtivas ocorrem, utilizando pincéis com as respectivas cores. Em seguida, comparamos com as cores do CD quando exposto diretamente sob a lâmpada.
[20] Espectroscópio	Construímos um espectroscópio utilizando uma caixa de distribuição e CD.
	Construímos um espectroscópio para observar espectros das lâmpadas, utilizando caixa de creme dental e CD.
	Construímos um espectroscópio utilizando caixa de fósforos e CD.
[21] Espectrômetro	Montamos um espectrômetro utilizando caixa de distribuição, anexando ao mesmo, uma escala para a medida dos ângulos a fim de que seja possível efetuar a medida do comprimento de onda da radiação.

IV. 5. Mapas Conceituais.

Em abril de 2006, os alunos receberam um roteiro sobre construção de mapas conceituais, baseado no Texto de Apoio ao Professor de Física: Mapas Conceituais no Ensino de Física, Moreira, M. A, 1992. Este roteiro encontra-se reproduzido no **anexo A** dessa dissertação.

Como exemplo, a professora traçou no quadro um mapa sobre eletrostática com a participação dos alunos, assunto visto por eles. Um segundo mapa, sobre eletrodinâmica, foi traçado pelos alunos, em grupos e com a orientação da professora. Um terceiro mapa, sobre resistores e força eletromotriz, foi traçado pelos alunos em duplas sob a orientação da professora. As dúvidas sobre a construção dos mapas eram esclarecidas para o grande grupo.

Um mapa conceitual sobre eletromagnetismo, traçado individualmente pelos alunos. E foi sugerido como tarefa para a semana seguinte (véspera de avaliação – prova escrita). Realizaram-se análises de alguns mapas como revisão do conteúdo para a avaliação. Em todas as avaliações, os alunos podiam consultar uma tabela de equações e algumas informações referentes ao conteúdo. Esta tabela era elaborada pelos alunos durante seu estudo e colocada no quadro minutos antes da avaliação para consulta. Naquele dia, os alunos sugeriram ficar com o mapa conceitual para consulta durante a avaliação ao invés da tabela de equações.

Durante a avaliação, alguns alunos pediram para “trocar” o mapa conceitual pela tabela de equações, pois não tinham algumas “fórmulas”. As avaliações são formuladas de forma que contemplem tanto questões teóricas como de cálculos.

No início os alunos tinham certa dificuldade no traçado dos mapas, porque procurávamos evitar a colocação de “fórmulas”, o que reflete o quanto a ligação da Física com as “fórmulas” está arraigada na concepção desta ciência vista pelo aluno.

A partir do conteúdo sobre ondas (período da aplicação do projeto) os alunos traçaram os mapas individualmente, trocavam idéias com os colegas, mas cada um tinha um jeito único de traçar os mapas. Os alunos, que não se dedicaram nos traçados de mapas feitos anteriormente, tiveram dificuldades, os demais mostraram familiaridade com o uso desta ferramenta.

IV. 6. Implantação do Material.

O material disponível em hipertexto foi gravado em CD e entregue a cada aluno, como um material de apoio, para que pudessem consultar ao resolver os exercícios, fazer os mapas conceituais e para leituras adicionais, embora para alguns alunos o acesso ao CD foi restrito por não possuírem microcomputador em casa, bem como na escola.

As aulas foram elaboradas com base no material disponível em hipertexto e conduzidas de acordo com o referencial teórico. A organização das aulas teve início com a discussão do conceito de ondas, passando pelas características e chegando às propriedades das ondas; as aulas enfatizaram os fenômenos difração e interferência. As atividades realizadas nas aulas foram bem diversificadas, um misto de teoria e prática, contemplando tanto as demonstrações como as animações.

Para a aplicação do projeto foram necessárias 22 aulas, distribuídas em 11 semanas. Nesses números estão incluídas as aulas, a avaliação (prova escrita), a apresentação dos trabalhos feitos pelos alunos e a recuperação de conteúdo e de nota amparada por lei. A aplicação do projeto teve início em 26 de setembro e concluído em 05 de dezembro de 2006.

Conforme citado na seção anterior, os alunos já conheciam e trabalhavam com mapas conceituais desde o início do ano letivo, por esse motivo não foram necessárias maiores instruções sobre o mapa conceitual. O projeto iniciou com a construção de um mapa conceitual sobre ondas, antes de qualquer preleção sobre o assunto. Nesse mapa, os estudantes relacionaram tudo o que pensavam e conheciam a respeito de ondas. Estes mapas serviram de instrumento para verificar as concepções prévias dos alunos a respeito de ondas.

No final de cada aula, os alunos eram solicitados a construir um novo mapa conceitual, completando com os conceitos vistos naquela aula, assim ao final de cada período de aprendizagem os alunos agregavam conceitos, levando-os a construir mapas cada vez mais abrangentes. Infelizmente devido ao pouco tempo disponível para o projeto, ficou inviável a construção e entrega do mapa sempre na mesma aula; tivemos que programar a conclusão do mapa em casa e a entrega

para a aula seguinte. A idéia do mapa conceitual era analisar como o estudante progredia na aquisição dos novos conceitos e como os relacionava.

As aulas eram estruturadas da seguinte forma: Num primeiro momento eram discutidas as dúvidas a respeito da lista de exercícios distribuída na aula anterior, depois era efetuada a entrega dos mapas conceituais (da aula anterior). Esse era o momento para trocar idéias quanto à organização dos conceitos, se houvesse, pois como os alunos concluíam o mapa em casa, entre os colegas havia troca de idéias e contribuições mútuas a respeito do mesmo.

Em seguida a aula anterior era recapitulada, de forma que durante o diálogo com os alunos, instigava-se os mesmos a perceberem que havia algo incompleto (no conteúdo). Em meio a muitos questionamentos, seguidos de demonstrações para confirmar o que estávamos pensando e recorrendo as animações para testar outras possibilidades, os alunos eram introduzidos ao novo conteúdo. As demonstrações eram sempre feitas com muita atenção. A curiosidade sobre onde se chegaria com o experimento garantiam a atenção e a participação da maioria dos alunos.

A participação dos estudantes era fundamental para dar seqüência à aula, era preciso estar atento, questionando, concluindo, observando e discutindo, valendo-se das simulações que confrontavam e/ou complementavam as demonstrações.

CAPÍTULO V

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo relatamos e discutimos a aplicação do projeto e os seus resultados. Descrevemos a forma como as aulas foram conduzidas baseadas no referencial teórico e no material instrucional disponível desenvolvido para o projeto. Relatamos também a participação dos estudantes no decorrer das aulas e suas opiniões a respeito da metodologia utilizada, em especial, quanto às demonstrações, às simulações e aos mapas conceituais.

V.1. Na Sala de Aula.

Na primeira aula realizada na escola, antes mesmo da instrução, os alunos foram solicitados a construir um mapa conceitual sobre ondas, no qual eles descreveriam o que pensavam e o que relacionavam com “ondas”. Após a construção do mapa, os alunos assistiram ao vídeo da TV Escola, intitulado: “O que é uma onda?” (vídeo referenciado no capítulo IV, tabela 01, item [2]). Esse vídeo animado com cinco minutos de duração apresentava uma menina e um peixe que discutiam sobre ondas no mar.

Após assistimos o vídeo, fomos ao laboratório estudar alguns elementos e características das ondas. Para isso foram feitas demonstrações utilizando mola *slink*, corda e cuba de ondas (capítulo IV, tabela 02, itens [1], [2] e [3]). Os estudantes também fizeram uma simulação de ondas em estádios (“ola”). Seguiu-se uma discussão para adequar as informações do vídeo e das demonstrações para a linguagem da Física. Após as atividades do laboratório foram distribuídos livros para que os estudantes, reunidos em grupos, pesquisassem e discutissem sobre os conceitos vistos na aula para em seguida reconstruírem os seus mapas conceituais sobre ondas. A maioria dos estudantes não concluiu o mapa em aula, fazendo-o posteriormente em casa. Por fim, foi entregue uma lista de exercícios, alguns desses, foram resolvidos em aula com a orientação da professora e os demais ficaram como tarefa extra-classe.

O mesmo procedimento, relativo ao mapa conceitual e lista de exercícios, foi repetido ao final de cada aula (com algumas exceções).

A segunda aula aconteceu no laboratório da universidade e os estudantes ficaram empolgados com a novidade, como mostra a figura 07. Para eles, o novo ambiente prometia muitas surpresas, como realmente aconteceu; estiveram sempre atentos às demonstrações e às animações, motivados e curiosos. Nesta aula foi-lhes apresentada a superposição de ondas e suas conseqüências, como: ondas estacionárias, batimentos e interferência. Utilizamos simulações

(capítulo IV, tabela 01, itens [5], [6] e [7]), seguido de demonstrações com cordas, mola *slink* e diapasões (capítulo IV, tabela 02, itens [4] e [5]).

Trabalhamos também com interferência em filmes finos, observando o padrão de cores num filme de sabão e água obtido com brinquedos para produzir bolhas de sabão (capítulo IV, tabela 02, item [6]). Finalizamos a aula, fazendo observações do resultado da superposição e interferência de dois feixes de luz em um interferômetro de Michelson (capítulo IV, tabela 02, item [7]).

O Interferômetro de Michelson (**Anexo D**) foi montado no dia anterior à aula, em função da montagem requerer tempo para ajuste dos feixes e obtenção das franjas de interferência. Deste modo os estudantes se depararam com o interferômetro já montado (figura 07). Foram dadas informações sobre a montagem, discutimos sobre o comportamento dos feixes, em que ponto ocorria a superposição e sobre o padrão de interferência resultante. Observamos os fenômenos e juntos fizemos algumas considerações sobre a interferência, como interferência construtiva (regiões claras) e interferência destrutiva (regiões escuras) e sobre as aplicações desse tipo de interferômetro.

O alinhamento de um interferômetro de Michelson é sempre um procedimento delicado e demorado, mesmo quando construídos com componentes de precisão. O interferômetro construído por nós, utilizando componentes alternativos, de baixo custo, demanda do experimentador uma dose extra de trabalho e paciência. Por esse motivo é importante que o interferômetro seja previamente alinhado para a demonstração com os estudantes, pois seria difícil manter a atenção dos mesmos no procedimento de montagem do equipamento.



Figura 07 – Alunos observando o Interferômetro de Michelson.

Ainda nessa aula, foi entregue aos estudantes o CD do “roteiro de aulas”, o mesmo material que está disponível na Wiki do Instituto, mas em uma versão preliminar. Os estudantes foram orientados para utilizarem o CD de forma crítica, fazendo sugestões quando julgassem necessário

para a melhoria do material. Os estudantes utilizaram o CD principalmente para consultas do conteúdo antes de elaborarem os seus mapas conceituais e para a preparação dos seus projetos, pois o livro texto (Bonjorno et al., 1999) não trata o assunto difração e interferência. Alguns estudantes que não tinham como acessar o CD em casa, procuraram alternativas, como acessar o CD na casa de amigos, pedir emprestado e consultar outros livros ou o livro texto adotado recentemente na escola (Gaspar, 2004).

Na terceira aula, continuamos o estudo da interferência, desta vez na cuba de ondas. Observamos o padrão de interferência mergulhando os dedos na cuba e oscilando ritmicamente. A mesma demonstração foi reproduzida agora utilizando um oscilador que estava disponível na universidade (capítulo IV, tabela 02, item [8]).

O estudo do fenômeno foi reforçado, utilizando as transparências (capítulo IV, tabela 02, item [9]). Os estudantes conseguiram relacionar o fenômeno com o observado no interferômetro e na cuba de ondas. Em seguida, foi apresentado o princípio de Huygens, com o qual se discutiu a formação da frente de ondas (capítulo IV, tabela 02, item [10]). A professora utilizou o quadro para explicar o princípio antes de mostrar as simulações no computador. Na simulação, conteúdos como refração e reflexão foram retomados (figura 08) e, então, analisados a partir do princípio de Huygens. (capítulo IV, tabela 1, itens [8], [9], [10] e [11]). Estas animações foram exploradas como organizadores prévios, preparando os alunos para o uso do princípio de Huygens na interpretação da difração, que seria iniciada logo a seguir.

Na mesma aula iniciamos discussões sobre a difração (capítulo IV, tabela 01, item [17]), utilizando novamente o princípio de Huygens para explicar como a onda pode transpor uma barreira (capítulo IV, tabela 02, item [17]). A partir desta aula os estudantes já se mostraram mais a vontade para interagir com o material em busca de novas descobertas (figura 09).

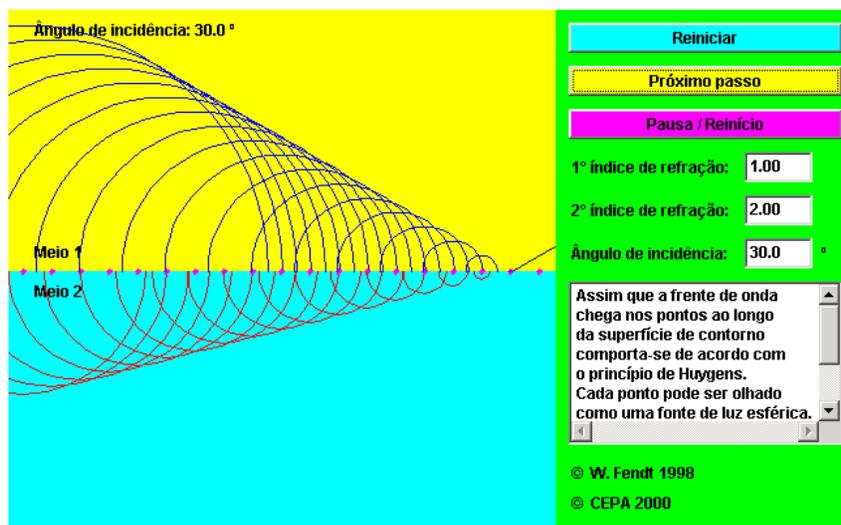


Figura 08 – Tela do Simulador utilizado para estudar o Princípio de Huygens.

Fonte: FFNDT W - http://www.walter-fendt.de/bh11hr/huygensor_hr.htm

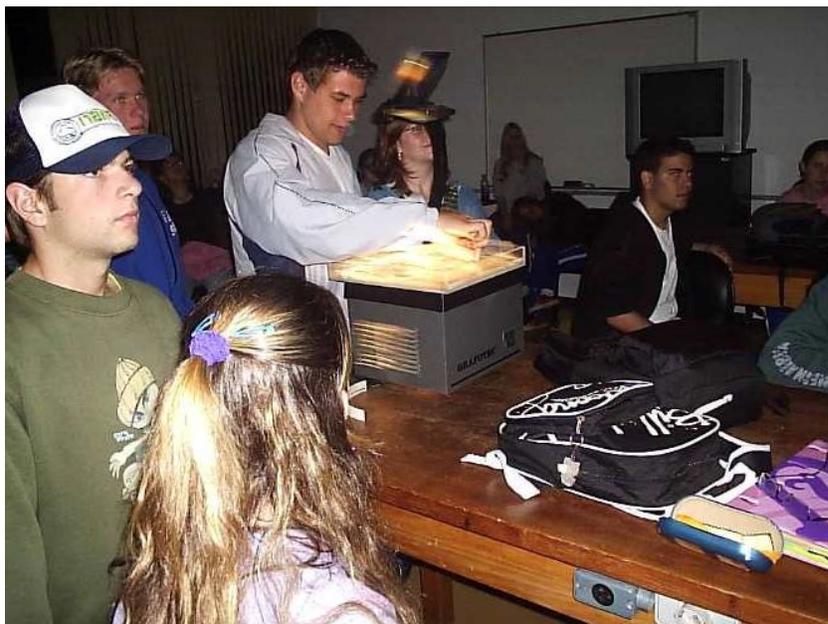


Figura 09 – Alunos interagindo com a cuba de ondas, sobre um retroprojektor.

Na quarta aula, iniciamos com uma retomada à aula anterior (difração) com a contribuição do estudante Felipi, da turma 302. O estudante se sentiu motivado pelo assunto e construiu uma simulação em FLASH, reproduzindo a cuba de ondas. Nessa cuba, colocou uma barreira que podia variar a abertura para o estudo da difração, havia também a opção de variar a velocidade, como mostra a figura 10.

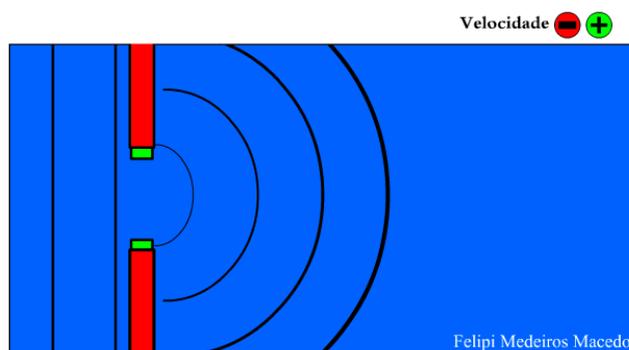


Figura 10 – Simulação criada pelo estudante Felipi.

Em seguida discutimos a difração para a luz, observamos o padrão de difração numa fenda (capítulo IV, tabela 02, item [11]) e discutimos sobre a mudança do padrão de difração de acordo com a largura da fenda. Depois substituímos a fenda por um fio mostrando que o padrão continuava o mesmo, como previsto pelo princípio de Babinet, que também demonstramos em aula.

As atividades de difração com laser e as atividades com fendas encontram-se respectivamente nos anexos **B** e **C**, dessa dissertação.

Analisamos como o padrão de difração se modifica, utilizando um bigode de gato como fio de espessura variável e comparamos com o padrão de difração obtido em uma fenda variável (capítulo IV, tabela 02, item [12]). A seguir utilizamos uma simulação para uma análise mais detalhada do fenômeno, complementando as demonstrações e analisando a mudança do padrão de difração também para comprimentos de onda diferentes (capítulo IV, tabela 01, itens [17], [18] e [20]).

Na quinta aula (que foi realizada na escola), iniciamos com a dedução da equação da difração e fizemos, com a participação dos alunos, medidas da largura de fios de cabelo cedidos por alguns deles. (capítulo IV, tabela 02, item [12]). Nessa prática ficou bastante evidenciada a dificuldade da maioria dos estudantes em tratar com dados numéricos. Na montagem do experimento e realização de medidas, os estudantes demonstram interesse e motivação, porém no momento de completarem os cálculos a maioria tenta delegar a tarefa a uns poucos colegas.

Iniciamos a sexta aula observando figuras pontilhistas⁸ e nos perguntando como (sob certas condições) o olho não consegue resolver a imagem de dois pontos próximos. Discutimos a relação deste fenômeno com a difração e a sua consequência para a formação das imagens. Observamos o padrão de difração em orifícios e em seguida assistimos uma animação sobre como a difração contribui para a formação de imagens no nosso olho a partir de fontes descontínuas (capítulo IV, tabela 01, item [19] e tabela 02, item [13]).

Nessa mesma aula, conversamos sobre o histórico experimento de fenda dupla de Young. Reproduzimos o experimento de Young com material alternativo (capítulo IV, tabela 02, item [16]). Experimentamos observar interferência utilizando duas lâmpadas como fontes de luz, e nos valemos dessa situação para estudar o conceito de coerência. Conversamos sobre o que ocorre com as franjas de interferência ao variar a distância entre os dois orifícios, analisamos as franjas de interferência com o auxílio da simulação. (capítulo IV, tabela 01, item [16]).

Na sétima aula, trabalhamos com múltiplas fendas e redes de difração, construímos redes de difração com CD, determinamos a distância entre os sulcos do CD e o número de linhas por milímetro a partir da medida da posição angular das ordens difratadas pelo CD (capítulo IV, tabela 02, item [18] e capítulo IV, tabela 01, item [21]). Também fizemos investigações a cerca das cores refletidas por um CD simulando, com as transparências, o espectro obtido no CD e em seguida, comparando os resultados com os espectros obtidos diretamente do CD (capítulo IV, tabela 02, item [19]).

Na oitava aula, os estudantes assistiram uma apresentação em power-point sobre a história do raio-X, sua origem, propriedades e as suas principais aplicações na ciência, medicina e tecnologia. Em especial foi discutida a difração de raio-X e suas aplicações.

⁸As figuras pontilhistas utilizadas são os trabalhos realizados pelos alunos da sexta série da escola Apolinário, de acordo com a técnica pontilhista desenvolvida na disciplina de Artes. Esses trabalhos foram cedidos pela professora de Educação Artística, em concordância com os alunos da sexta série, para serem utilizados nesse projeto. Os mesmos foram devolvidos à professora, na aula seguinte.

Na nona aula, os alunos foram submetidos a uma prova escrita. A prova não era obrigatória para os alunos, pois muitos já estavam aprovados na área com base nos outros mecanismos de avaliação utilizados, entre os quais se incluía a avaliação pelos mapas conceituais, a participação dos estudantes nas aulas e a entrega da lista de exercícios e a apresentação de um projeto executado em grupo, incluindo entrega de relatório. (As avaliações: prova escrita e recuperação, encontram-se no **Apêndice B** desta dissertação). A intenção da prova escrita não foi de avaliar o projeto, mas avaliar o conhecimento do estudante e ter uma idéia de como ele aplica conceitos chaves do conteúdo estudado e o quanto ele conseguiu internalizar. Analisamos o resultado das provas escritas, associando-o com os mapas conceituais entregues.

Entre os alunos que fizeram a prova escrita, 40% atingiram nota igual ou superior a média (6,0 pontos) na turma 301 e 30% na turma 302. Dos alunos que fizeram a recuperação, todos tiveram resultados superiores à prova.

O nosso projeto não previa de início a aplicação de prova escrita. A prova foi preparada e aplicada nos mesmos moldes que vinha sendo aplicada antes do inicio do projeto, portanto a prova não havia sido pensada de acordo com a proposta do projeto. Cremos que houve um erro de avaliação nossa, neste caso. Não descartamos a importância da prova, mesmo assim, mas seria necessária uma melhor adequação ao projeto, para uma futura aplicação.

Após a prova escrita os estudantes receberam um questionário de opinião a respeito do projeto. Algumas opiniões manifestadas neste questionário são analisadas nas seções abaixo. As opiniões na íntegra encontram-se no **Apêndice C**, dessa dissertação.

V.2. Os Projetos.

Nas aulas seguintes, após a prova escrita, os estudantes apresentaram os seus projetos (trabalhos em grupos). Os estudantes se reuniram em grupos de 4 ou 5 elementos. Cada grupo escolheu, para reproduzir e apresentar aos demais colegas da turma, um experimento entre os que estavam descritos no CD que receberam (tabela 03). Na apresentação aos colegas o grupo demonstrava o experimento, detalhando a sua montagem e explicando a teoria que o fundamentava (figuras 11 e 12). Juntamente com a apresentação, os alunos entregaram um relatório escrito contendo as mesmas informações apresentadas oralmente aos colegas (figura 13).

O final da oitava aula, posteriormente à apresentação sobre difração de RX, foi dedicado à orientação dos grupos quanto às apresentações dos trabalhos (projetos), quando os estudantes puderam obter orientação quanto à montagem do experimento e esclarecer dúvidas sobre a teoria envolvida. Houve grupos que procuraram a professora extra-classe para fazer um teste com o experimento ou esclarecer melhor a teoria.

Durante a apresentação, tivemos algumas contribuições interessantes, como a de um estudante que freqüentava cursos no Senai⁹. Este relatou sobre empresas que utilizam laser para

⁹ Senai: Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial.

realizar medidas no lugar de instrumentos como micrômetro. Na apresentação do seu trabalho, o grupo mediu a espessura de um fio de cabelo usando difração e comparou com a medida obtida no micrômetro, obtendo valores semelhantes.

Tabela 03 – Experimentos apresentados pelos estudantes.

Grupo (Turma): 1 (T. 301)	Experimentos: Projeção de espectros usando uma rede de difração (CD) e um retroprojektor.
Aspectos Relevantes: Houve dedicação do grupo para realizar o trabalho. Procuraram a professora no turno contrário às aulas, para reproduzir o experimento e tirar as dúvidas antes da apresentação.	
Grupo (Turma): 2 (T. 301)	Experimentos: Espectroscópio tipo 3
Aspectos Relevantes: Na apresentação do trabalho, ficou claro que só um aluno fez o trabalho e os demais mal sabiam o que estavam apresentando (havia 4 componentes).	
Grupo (Turma): 3 (T. 301)	Experimentos: Espectroscópio tipo 1
Aspectos Relevantes: Os estudantes se dedicaram na apresentação do experimento.	
Grupo (Turma): 4 (T. 301)	Experimentos: Experimento de Young
Aspectos Relevantes: Na apresentação do grupo, percebeu-se que somente dois alunos fizeram o trabalho, os demais deram a entender que souberam de última hora o que iriam apresentar. Inclusive os 2 alunos chamavam a atenção dos colegas de grupo quando se referiam ao conteúdo/ ou ao experimento de forma equivocada.	
Grupo (Turma): 5 (T. 301)	Experimentos: Espectroscópio tipo 3
Aspectos Relevantes: O grupo reproduziu o experimento disponível no CD e além disso fez uma variação do experimento, quando substituiu o pedaço de CD por outro, só que sem a película. O resultado foi muito bom.	
Grupo (Turma): 6 (T. 301)	Experimentos: Difração em Orifícios
Todos os componentes se dedicaram ao apresentar e realizaram a medida com cuidado, para obter um resultado satisfatório.	
Grupo (Turma): 7 (T. 302)	Experimentos: Difração em Fios
Aspectos Relevantes: Nesse grupo, de 5 componentes, somente um deles, no momento da apresentação demonstrou “saber o que estava fazendo” inclusive orientava os demais colegas, dizendo o que deveriam fazer.	
Grupo (Turma): 8 (T. 302)	Experimentos: Interferência (fenda dupla)
Aspectos Relevantes: O grupo se dedicou, criou um suporte (de isopor) para acomodar o filme e o laser. Realizou a demonstração antes de apresentar e se mostraram surpresos ao “descobrir” que ondas sonoras sofrem interferência.	
Grupo (Turma): 9 (T. 302)	Experimentos: Experimento de Young
Aspectos Relevantes: Apresentaram a demonstração mais com a intenção de cumprir a tarefa e ganhar sua nota.	
Grupo (Turma): 10 (T. 302)	Experimentos: Espectrômetro
Aspectos Relevantes: A dupla não se dedicou para apresentação da demonstração, terminaram de montar o espectrômetro minutos antes da apresentação.	
Grupo (Turma): 11 (T. 302)	Experimentos: Espectroscópio tipo 3
Aspectos Relevantes: Apresentaram o espectroscópio e investiram na explicação sobre a posição das várias ordens de difração observadas no CD, comparando com os padrões de difração observados em fios e fendas.	



Figura 11– Grupo apresentando o Experimento de Young reproduzido a partir de duas fendas num filme fotográfico velado.



Figura 12– Grupo fazendo investigações a respeito da difração da luz durante apresentação.

T: 302

1 / 1

nome n.º 7, 12, 13, 1

2- Interferência

MATERIAL:

- 2 garra de jacaré
- 1 suporte para pêlcor (3)
- 1 lâmpada 3,3V com suporte
- 3 pêlcor tipo AA
- laur
- filme

⇒ Fazer duas fendas finas e paralelas no negativo utilizando um estilete, "não cortar", apenas riscar de forma que a luz possa passar.

ligar o laur e envolver uma fita no tubo liga desliga para que o mesmo não mantenha ligado durante toda a demonstração. Colocar as fendas diante do filme de laur e assim, observar o efeito no espelho.

O experimento da fenda dupla demonstra a natureza ondulatória da luz porque padrões sobre o anteparo pode ser explicado em termos da interferência de onda. A interferência construtiva origina franjas brilhantes e as ^{franjas} destrutivas origina franjas escuras.

Anum, se as ondas luminosas não se espalham depois de passar pelas fendas, não ocorreria qualquer interferência; porém, as ondas luminosas provenientes das duas fendas se interceptam e se espalham e assim formam as franjas de interferência.

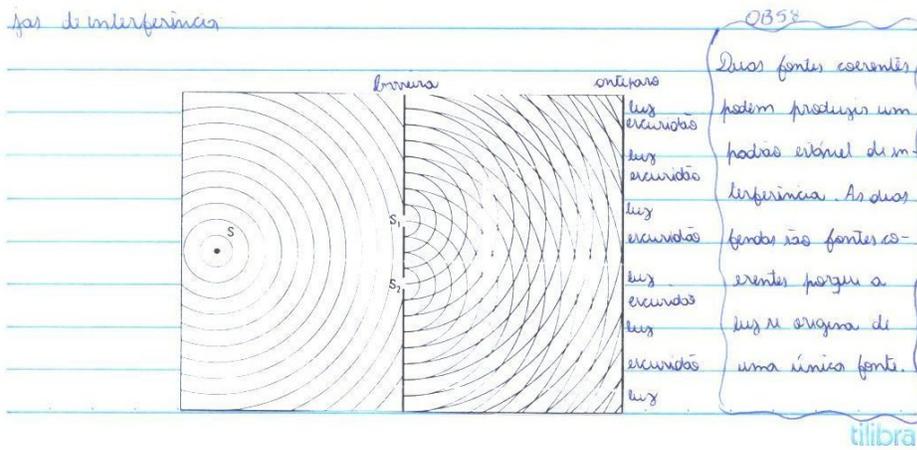


Figura 13- Relatório de grupo, contendo informações sobre material utilizado, montagem e embasamento teórico.

Após concluírem as apresentações, as provas escritas foram devolvidas e os alunos refizeram e discutiram as questões em grupos com a orientação da professora. Na semana seguinte, foi aplicada uma nova avaliação (estudos de recuperação de acordo com o regimento da escola). Uma das alunas sugeriu que, numa outra oportunidade, as avaliações fossem feitas depois das apresentações dos trabalhos uma vez que, o trabalho “obrigou a entender realmente, pois havia uma responsabilidade em explicar para os colegas”. O grupo, dessa estudante apresentou sobre experimento de Young e, na apresentação do seu projeto, deram-se conta que a interferência também pode ocorrer com ondas sonoras.

V.3. As Demonstrações.

No ensino da Física a realização de experimentos pelos alunos é fundamental para consolidar o aprendizado. Os estudantes sentem-se motivados e envolvidos com o conteúdo quando na aula são utilizadas demonstrações ou práticas experimentais. “... o uso de atividades experimentais como estratégia de ensino de Física tem sido apontado por professores e alunos como uma das maneiras mais frutíferas de se minimizar as dificuldades de se aprender e de se ensinar Física de modo significativo e consistente” (Araújo e Abib, 2003, p. 176).

O uso didático da experimentação pode ser explorado de inúmeras maneiras distintas [Araújo e Abib, 2003], que nós aqui separamos em dois grandes grupos, ambos utilizados em nosso projeto, ou seja:

- Demonstração: Os experimentos acompanham a aula para exemplificar ou demonstrar o fenômeno estudado. Geralmente o professor dirige a demonstração e, dependendo da abordagem proposta por este, poderá haver uma participação mais ou menos ativa por parte dos alunos.
- Prática Experimental: A partir de um roteiro, em geral, proposto pelo professor, os estudantes desenvolvem o experimento com o objetivo de verificar ou de descobrir princípios físicos ou a comprovação de teorias. Em geral o resultado da prática experimental será expressa na forma de um relatório ou de uma apresentação/ demonstração para o professor ou para os demais colegas. Dependendo do tipo de roteiro proposto, a atividade experimental poderá variar, desde “altamente estruturada”, nos casos em que o aluno desenvolve o experimento guiado por um roteiro cuja atividade está programada passo a passo; até “não estruturada” em que o roteiro apenas especifica os objetivos do experimento e deixa para o aluno a pesquisa e descoberta dos princípios físicos e procedimentos necessários para alcançar tais objetivos.

A proposta pedagógica deste projeto é fortemente embasada na experimentação. Mesmo durante as aulas apresentadas pela professora, que tiveram demonstrações em sua totalidade, acompanhando as explicações dos conteúdos, sempre reforçadas com o uso de animações e simulações sobre cada um dos conceitos envolvidos, seguido de ampla discussão. Tanto as demonstrações dos experimentos como o trabalho com as animações e simulações tiveram sempre a participação ativa dos estudantes. Em alguns momentos, as simulações eram utilizadas como

organizadores prévios do próximo experimento e em outros, para reforçar a discussão do experimento.

No final das aulas dirigidas pela professora, os alunos tinham noção do conteúdo, consultaram o material instrucional distribuído e, reunidos em grupos, escolheram um experimento para desenvolverem, relataram por escrito e demonstraram aos colegas, como descrito na seção anterior (V.2.Projetos). Os experimentos foram escolhidos de uma lista de opções disponibilizada pela professora com roteiros fracamente estruturados. Ou seja, a partir dos roteiros os alunos deveriam pesquisar, discutir no grupo e, se necessário, consultar a professora para executar o seu projeto. A maioria dos experimentos propostos havia sido demonstrada em uma forma alternativa durante as aulas.

Mostramos neste projeto que mesmo em escolas que não dispõem de um laboratório bem equipado é possível obter bons resultados e garantir uma aula descontraída e de qualidade, quase totalmente ancorada em demonstrações experimentais desenvolvidas a partir de materiais de baixo custo. Independente de termos utilizado as dependências da universidade, o professor pode aplicar o mesmo projeto. Na falta de microcomputadores não serão apresentadas as simulações, porém, se houver pelo menos um microcomputador, o professor pode formar pequenos grupos na turma para apresentar-lhes as simulações. Nem todas as simulações dependem de acesso a internet, algumas podem ser gravadas em CD.

Pelas avaliações e também pelas manifestações dos estudantes fica evidente que eles lembram com mais facilidade das demonstrações do que das animações trabalhadas nas aulas. Isto provavelmente se justifica pelo fato que os estudantes puderam interagir mais intensamente e diretamente com as demonstrações do que com as simulações.

Quando perguntado aos estudantes, se acham que as demonstrações facilitam a aprendizagem da Física, a aprovação foi quase unânime:

“Sim, pois aprendemos como realmente funciona e onde podemos utilizá-lo”. (Carin)

“Sim, porque é uma coisa a professora falar como funciona e é outra ela mostrar como funciona”. (Diego)

“Da mesma forma que as animações é um método diferente de ensinar não deixa os alunos “enjoar” das aulas”. (Regina)

“Um pouco, por que além da explicação da professora a demonstração ajuda a entender os processos”. (Samuel).

Também foi perguntado aos estudantes se as demonstrações os deixaram mais motivados a aprender:

“Mais ou menos, porque não adianta eu não me identifico com a matéria de física, assim como a física não se identifica comigo”. (Aldrey)

“Sim, quando a pessoa não está prestando muita atenção com uma demonstração faz com que a aula fique interessante de novo como fosse um passe de mágica o interesse volta a mente e com isso voltasse a se motivar para aprender mais”. (Cléber)

“Sim, sou muito preguiçoso na escola, principalmente agora no terceiro ano, mas o fato de usar a prática nas experiências me motiva a entender e compreender melhor o porquê que aquilo acontece”.(Elisson)

“Sim, e me deixaram com vontade de brincar”. (Felipi)

“Muito mais, pois ficamos super concentrados, ansiosos para ver o que vai acontecer, procurando encontrar os pontos na parede, dá ânimo ao aluno ir para uma aula diferente”. (Regina)

Entre as demonstrações que os estudantes mais gostaram, estão: Difração, cores do CD (redes de difração), Experimento de Young, Difração em tubo de filmes, espectroscópio e interferômetro de Michelson.

V.4. As Animações.

A Escola E. E. M. Apolinário Alves dos Santos, como muitas das escolas públicas brasileira, dispõe por enquanto um nível de informatização quase nulo, ou seja, não dispõe de salas de aula ou laboratório informatizados, com computadores e acesso à Internet. Adicionalmente, em virtude da classe social atendida pela escola, a maioria dos estudantes não tinha acesso a Internet em casa, ou mesmo um computador disponível. A proximidade da Escola com a Universidade de Caxias do Sul e o histórico de colaboração entre estas duas entidades tornou possível que se incluísse no projeto o trabalho com recursos computacionais. Com a aplicação do projeto na universidade, as simulações (Tabela 01) foram apresentadas aos alunos durante as aulas.

Juntamente com as demonstrações, as animações foram responsáveis pela grande motivação dos estudantes. Primeiro porque o uso do computador, especialmente na sala de aula era novidade para a maioria dos estudantes. As animações eram apresentadas pela professora em geral depois das demonstrações para complementá-las e reforçar a discussão sobre o experimento e a sua teoria, mas em muitos casos as simulações foram utilizadas também como organizadores prévios, preparando o aluno para o próximo experimento.

Nas atividades em que era utilizada alguma animação ou simulação os estudantes participavam ativamente, sugerindo quais parâmetros deveriam ser introduzidos ou modificados para simular certo fenômeno. Muitas vezes os estudantes sugeriam o que seria modificado e cogitavam hipóteses a respeito do resultado esperado, simulando a seguir no aplicativo e testando posteriormente com um experimento real.

A animação que teve melhor repercussão entre os estudantes foi “Pontilhismo e Difração” (capítulo IV, tabela 01, itens [19]), que discute o fenômeno da difração da luz através da íris do olho humano, analisando as conseqüências desta difração na formação das imagens. O aplicativo

apresenta o fenômeno contextualizado com situações que podemos vivenciar no nosso cotidiano, acompanhados de explicações detalhadas e interativas, facilitando a compreensão e a aprendizagem significativa por parte dos estudantes (figuras 14 e 15).



Figura 14 – Apresentação de uma figura pontilhista do aplicativo “pontilhismo e difração”.

<http://www.if.ufrgs.br/cref/aplicativos/pontilhismo.htm>

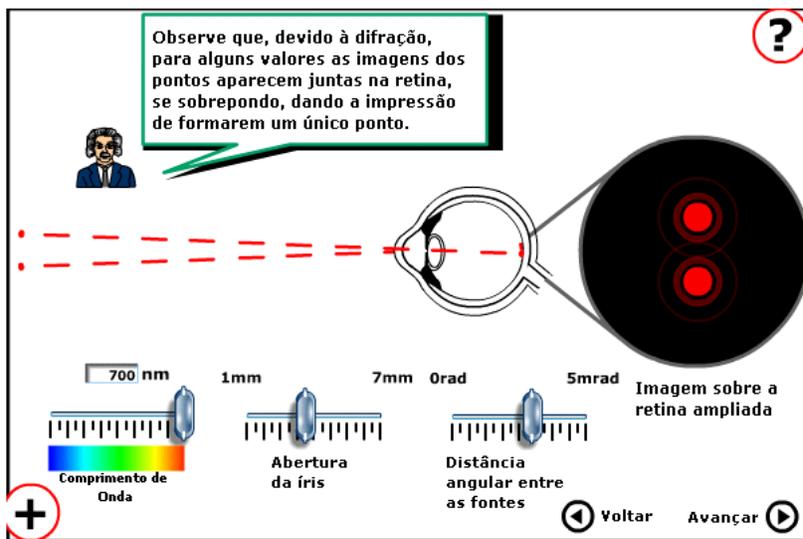


Figura 15 – Uma das telas da animação de difração do aplicativo “pontilhismo e difração”.

<http://www.if.ufrgs.br/cref/aplicativos/pontilhismo.htm>

No questionário, foi perguntado aos estudantes se o uso de animações e simulações constituiu-se em um elemento motivador nas aulas. A maioria respondeu sim e argumentou que se sentiram mais “envolvidos” com a matéria:

“Sim, sei lá parece que mostra tudo da onde vem como acontece e como é isso é legal”.
(Andressa)

“Sim, aprendemos muitas coisas, na qual não havíamos conhecimento, mas às vezes é difícil acompanhar, pois são muitas informações” (Jenifer)

“Sem dúvida, pois ela é diferente a tudo o que já vimos, acho que envolve mais os alunos, todos ficam concentrados”. (Regina)

“Não digo mais interessado, mas mais envolvidos no assunto”. (Rodrigo)

“Sim, queremos ver mais coisas e temos esse tempo, o quadro é muito estático não dá para compreender exatamente o que está acontecendo, já as animações”. (Shani)

Quando perguntado aos alunos se as animações facilitaram o entendimento, a grande maioria acredita que ajudaram e muito.

“Sim, que só ficar lendo e tentando decorar fórmulas se torna um pouco cansativo com as animações a aula se torna mais divertida e com isso a participação e a atenção dos alunos é aumentada durante a aula”. (Cléber)

“Ajudam muito, mas poderiam ser auto-explicativos para a auto-aprendizagem e posterior estudo da matéria”. (Felipi)

“Sim vendo, olhando, podendo controlar e aí meros resultados é bastante importante e aí fica mais fácil gravar e principalmente aprender”. (Juliana)

“Sim, pois são animações onde a gente pode brincar e acaba entendendo o porque elas se tornam diferentes se mudarmos os dados”. (Sheila)

“Sim, pois as aulas estão legais, ninguém dorme todos prestam atenção”. (Tatiane)

Em uma escola que disponha de Laboratório de Informática, onde os estudantes tenham acesso ao computador individualmente ou em pequenos grupos, é interessante, como alternativa pedagógica na exploração das TICs, deixar os estudantes explorar os aplicativos de acordo com seu ritmo, interagindo com as simulações e animações, permitindo maior abertura para reflexões críticas, discussões que podem levar um maior aprofundamento dos aspectos conceituais e em consequência facilitando a internalização do conteúdo por parte do estudante.

V.5. Os Mapas Conceituais

Na primeira aula realizada na escola, relativo ao nosso projeto, antes mesmo das primeiras instruções, os alunos foram solicitados a construir um mapa conceitual sobre ondas, através do qual eles registrariam o que pensavam e o que relacionavam com “ondas”. Nesse primeiro mapa a maioria dos estudantes lembrou das ondas do mar, enquanto que alguns também relacionaram ondas com calor, celular, rádio, microondas. A figura 16 mostra um exemplo desses mapas. A análise dos mapas deixa evidente que a maioria dos alunos já tinha uma percepção sobre o que são ondas, ainda que não a soubessem definir de maneira precisa, ou descrever corretamente as suas características.

Entre as turmas havia três alunos que freqüentavam cursinho pré-vestibular e, portanto já haviam tido contato com o conteúdo anteriormente. Isto ficou aparente nos mapas que traçaram.

Após a construção desse primeiro mapa, os alunos assistiram ao vídeo “O que é uma onda?” da TV Escola, que mostra dois personagens, uma criança e um peixe, discutindo sobre o que são e como se formam as ondas no mar. Após o vídeo os estudantes participaram de atividades no laboratório onde utilizaram alguns instrumentos, como mola “slink”, corda e cuba de ondas para demonstrar as principais características das ondas. Os estudantes também fizeram uma simulação de ondas em estádios (“ola”). Seguiu-se uma discussão para adequar as informações do vídeo e das demonstrações para a linguagem da Física. Depois da instrução, nessa mesma aula, os alunos voltaram a traçar o mapa conceitual, com o mesmo assunto “Ondas”. Um exemplo desses mapas é mostrado na figura 17. Uma comparação desses dois mapas (da mesma aluna) sugere a evolução da concepção sobre onda desta aluna, após a primeira aula.

A proposta da construção dos mapas conceituais era que no final de cada aula, os alunos recebessem os livros, se reunissem em grupos para pesquisar e discutir os novos conceitos tratados na aula, fizessem as anotações e em seguida, iniciassem a elaboração individual dos seus mapas, concluindo-os ainda durante a aula. Devido ao pouco tempo disponível nas aulas, após a elaboração do primeiro mapa todos os demais eram iniciados durante a aula, mas concluídos em casa como atividades extra-classe. A maioria dos estudantes concluiu em casa e ainda teve tempo para trocar idéias com os colegas e com a professora; muitos alunos foram atendidos em períodos extra-classe durante a elaboração dos seus mapas. Com o passar das aulas, os alunos foram adquirindo segurança na construção dos mapas.

Observando os mapas, podemos separar os estudantes que fizeram com a intenção de aprender e os que entregavam por “conveniência”, para não ficar sem entregar ou sem a nota. Pelo número de mapas que não foram entregues (131 de 366), percebemos um número significativo de alunos que não se envolveram ou se envolveram pouco com o trabalho. Em alguns mapas percebe-se que os estudantes não se preocupavam em traçar novamente, eles copiavam as informações do mapa anterior e completavam sem reler o material para então modificar, acrescentar ou “acomodá-la” de forma mais adequada. Observamos que entre a maioria dos alunos que mantinha esta prática estão os que tiveram pior desempenho nas provas. Por outro lado, a parcela dos estudantes que se dedicou nos trabalhos com os mapas conceituais, tinha por prática, sempre que encontrava dificuldades com o conteúdo, que era novo para eles, ou mesmo no traçado do mapa, buscar ajuda com os colegas ou com a professora, no final da aula ou em outro turno.

Antes do projeto, tradicionalmente, as aulas eram registradas no caderno, as explicações eram acompanhadas de conteúdos ou resumos escritos no quadro, que a maioria dos estudantes copiava em seus cadernos, seguindo-se a resolução de exercícios. Durante a aplicação do projeto, os alunos passavam a maior parte da aula interagindo com as demonstrações. Comparando, testando novas hipóteses com as simulações e tirando conclusões, mas não faziam anotação alguma. Os registros foram substituídos pelos mapas conceituais. Nem todos os alunos se deram conta disso. No questionário uma aluna reclamou que tinha pouco texto no caderno.

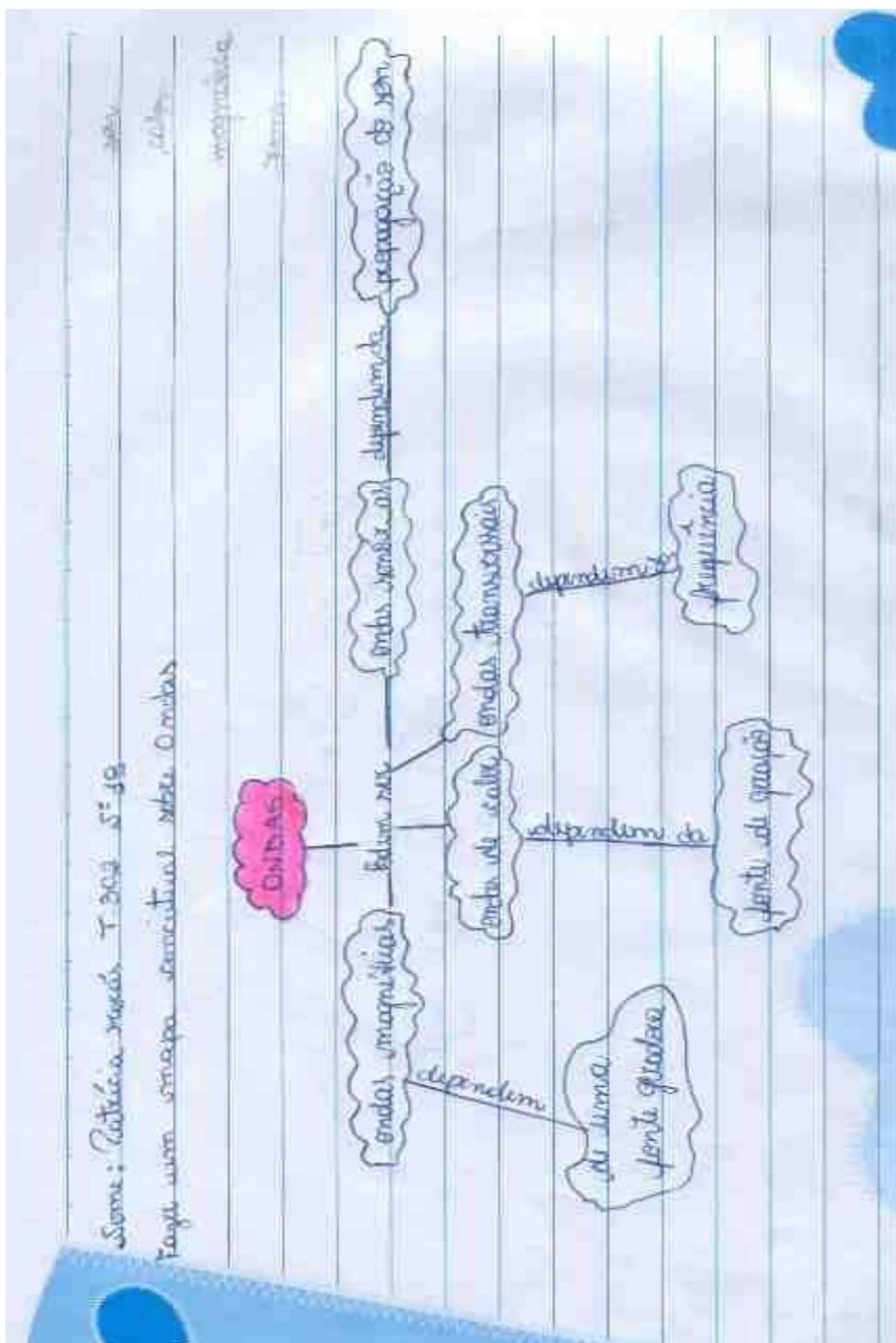


Figura 16 – Mapa conceitual de uma aluna traçado antes da instrução.

Neste ponto devemos lembrar novamente da afirmativa de Tavares (2005, p.8), a qual também acrescentamos as demonstrações, além do uso integrado dos mapas conceituais, animações e texto:

O uso integrado de mapa conceitual, animação interativa e texto se configura como uma estratégia pedagógica consistente com a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, além de se apresentar como uma possibilidade instrucional que utiliza de uma maneira natural as possibilidades oferecidas pelo computador e internet. (Tavares, 2005, p.8).

Nas respostas dos questionários fica aparente que, a cada nova elaboração dos mapas conceituais sobre ondas, a dependência da consulta ao material instrucional era menor:

“Todos os mapas que fiz tive que consultar sim, os materiais, mas alguns assuntos como: comprimento de onda, as difrações etc.. Não era necessário o uso do material”. (Aldrey)

“Não, os primeiros conteúdos já não precisavam mais procurar, como superposição de ondas, período, frequência e interferência”. (Carin)

“Nos assuntos recentes ocupei, pois absorver tão depressa é complicado, mas nos outros, já havia uma certa clareza do conteúdo e ficou mais fácil a não utilização de consulta”. (Elisson)

“Em todos os mapas consultei o material para ter certeza que está certo”. (Rodrigo)

“Alguns não houve necessidade, mas outros sim. Em difração tinha certas explicações que não ficaram bem claras”. (Sílvia)

“Tiveram conceitos que já conseguia colocar sem consultar, interferência, superposição, reflexão e refração”. (Jéferson)

No entanto os estudantes apresentaram opiniões um pouco divididas quando responderam se a elaboração de mapas conceituais facilitou o entendimento da matéria:

“Sim, por que a matéria tem várias partes diferentes e com os mapas ficou resumindo as partes mais importantes junto com os seus devidos conceitos”. (Diego).

“No meu caso não, acho que dificultou um pouco, talvez pelo fato de não ter conseguido entender como ele é feito”. (Shani).

“Sim, pois a cada mapa revemos todos os conteúdos, e assim fica melhor para entender”. (Carin)

“Não para mim o mapa não ajuda”. (Samuel)

“Toda vez que fazíamos o mapa conceitual, a matéria era revista, facilitando bastante, é até um modo bem mais fácil de estudar para as provas”. (Jenifer B).

“O dia que fiz, sim”. (Felipi M).

“Sim, principalmente por fazê-los várias vezes. Acho que até que mostramos o que foi aprendido o que aprendemos de verdade e isso ajuda a mostrar no que temos dificuldade e a

parte frágil do nosso aprendizado, digo, o que temos que concentrar mais a nossa atenção”.
(Juliana).

“Sim, apesar de que dá auto trabalho para fazer o mapa... mas assim revisando e ligando as matérias conseguimos assimilar melhor”. (Carlane)

“Sim, apesar de no início ser um pouco complicado de fazê-lo ele ajuda muito ele serve de resumo geral da matéria, lendo só uma palavra no mapa você consegue lembrar do assunto e interligar a outro, com o mapa é muito mais prático para estudar”. (Letícia)

“Mais ou menos, pois deveria ser corrigido ou criado em “grupos” para trocarmos informações. Mas ajuda para fazermos ligações com outros conteúdos e com o dia a dia”.
(Marcos)

“Talvez sim, mais ainda não vejo muita objetividade, talvez pela minha falta de prática, sem deixar de considerar as circunstâncias, final de ano, último ano, nosso interesse já está disperso, querendo o futuro, e se desligando do presente”. (Rodrigo S.)

A turma 302 tem 30 alunos, construíram ao todo 120 mapas: No primeiro traçado foram entregues 26 mapas, no segundo 14, no terceiro 15, no quarto 23, no quinto 23 e no sexto 19 mapas. Uma aluna não concluiu o projeto, trocou o turno para a noite. A turma 301 tem 31 alunos, construíram ao todo 115 mapas: No primeiro traçado foram entregues 30 mapas, no segundo 14, no terceiro 19, no quarto 19, no quinto 16 e no sexto 17 mapas. Dois alunos não concluíram o projeto, porque se transferiram de escola. Do total das duas turmas 12 alunos fizeram todos os mapas propostos no projeto.

Nas figuras 18 a 23 são mostrados os 6 mapas feitos por um destes 12 alunos. Observando a figura 18, no primeiro mapa, notamos que a estudante expõe suas idéias a respeito de “ondas”. Podemos perceber a relação que a estudante faz, com mar, praia, som. O segundo mapa, figura 19, foi traçado após a instrução, percebemos a riqueza de conceitos em relação ao primeiro, a estudante procura relacionar as características e elementos das ondas sem eliminar sua idéia inicial, de que “onda lembra mar” e que “é originada por vento”. A figura 20 apresenta o terceiro mapa dessa estudante, ela acrescenta os conceitos de ondas estacionárias e reflexão e desvincula a idéia de mar e vento. O quarto mapa, apresentado na figura 21, demonstra que, além dos conceitos aprendidos anteriormente a estudante acrescenta superposição de ondas e algumas propriedades como difração, interferência, eco, reverberação e refração. O quinto mapa (figura 22) começa a ficar extenso, a estudante acrescenta a difração: Difração em orifícios e formação de imagens. No último mapa, figura 23, a estudante agrega os conceitos de interferência construtiva e destrutiva e redes de difração (fendas múltiplas). Em nenhum dos mapas aparece o “princípio de Huygens” provavelmente a estudante não compreendeu este assunto e não sentiu segurança em escrevê-lo no mapa. Nestes mapas fica evidente a evolução cognitiva do aluno sobre o conteúdo tratado no projeto.

No primeiro mapa, todos os alunos relacionaram ondas com o mar, praia, calor. Alguns relacionaram com celular, rádio, microondas, música, som. Um estudante classificou as ondas como

invisíveis e visíveis, como visível seria a onda no mar e invisível seriam ondas de calor, sonoras, eletromagnéticas.

No segundo mapa conceitual, feito logo após a instrução, ainda era evidente o predomínio da associação das ondas com as “ondas do mar”, incluindo elementos para formação de ondas do mar, como vento, pista, etc., refletindo a influência do vídeo da TV Escola “De onde vem a onda?”. Mesmo assim após a primeira aula a maioria dos alunos conseguiu ampliar o seu conceito de onda.

Os estudantes, ao relacionar os conteúdos no mapa, procuravam explicar o máximo que podiam, ficando difícil evitar idéias longas. Mesmo porque, ao consultarem os livros, os estudantes acabavam se prendendo às explicações dos livros didáticos. Alguns estudantes, inclusive, colocaram desenhos no mapa para acompanhar os conceitos.

Ainda na quarta construção do mapa um aluno mantinha como exemplos de onda: mar, repuxo, surf. A partir do quarto mapa, começou a aparecer eventualmente mapas idênticos ao disponível no CD distribuído aos alunos. Inclusive entre alguns alunos que tinham uma forma particular de traçar seus mapas.

Dos alunos que fizeram todos os mapas propostos no projeto (um total de 12 alunos) percebe-se claramente sua evolução comparando a forma de relacionar os conceitos. Estes alunos tiveram todos um bom desempenho na prova escrita. Os conceitos que estiveram mais ausentes nesses mapas foram: princípio de Huygens, coerência e superposição. Especulamos que o motivo da falta de menção a esses conceitos, ou menção inadequada, deve-se ao fato de estes serem os conceitos mais complexos e abstratos em todo o conteúdo tratado no projeto e que a abordagem oferecida no projeto, seja por meio de animações ou de demonstrações experimentais, não tenha sido a mais adequada para a complexidade do tema.

A análise dos mapas conceituais gerados neste projeto não foi esgotada. Até aqui trabalhamos apenas com os mapas elaborados pelos 12 alunos que entregaram todos os mapas propostos no projeto. Uma análise mais completa será feita após a conclusão da dissertação.

tilibra

Nome: Jennifer P. Brito

m^o: 12

turma: 303

corrente

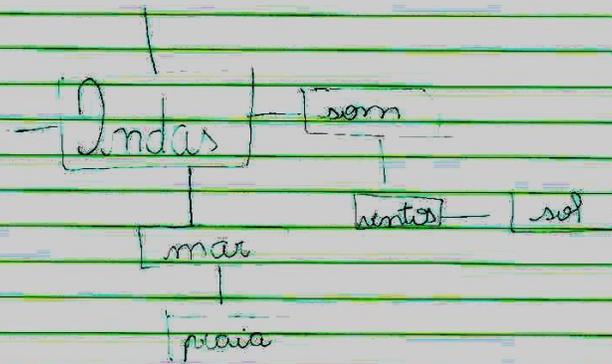


Figura 18 – Primeiro mapa conceitual de outra estudante.

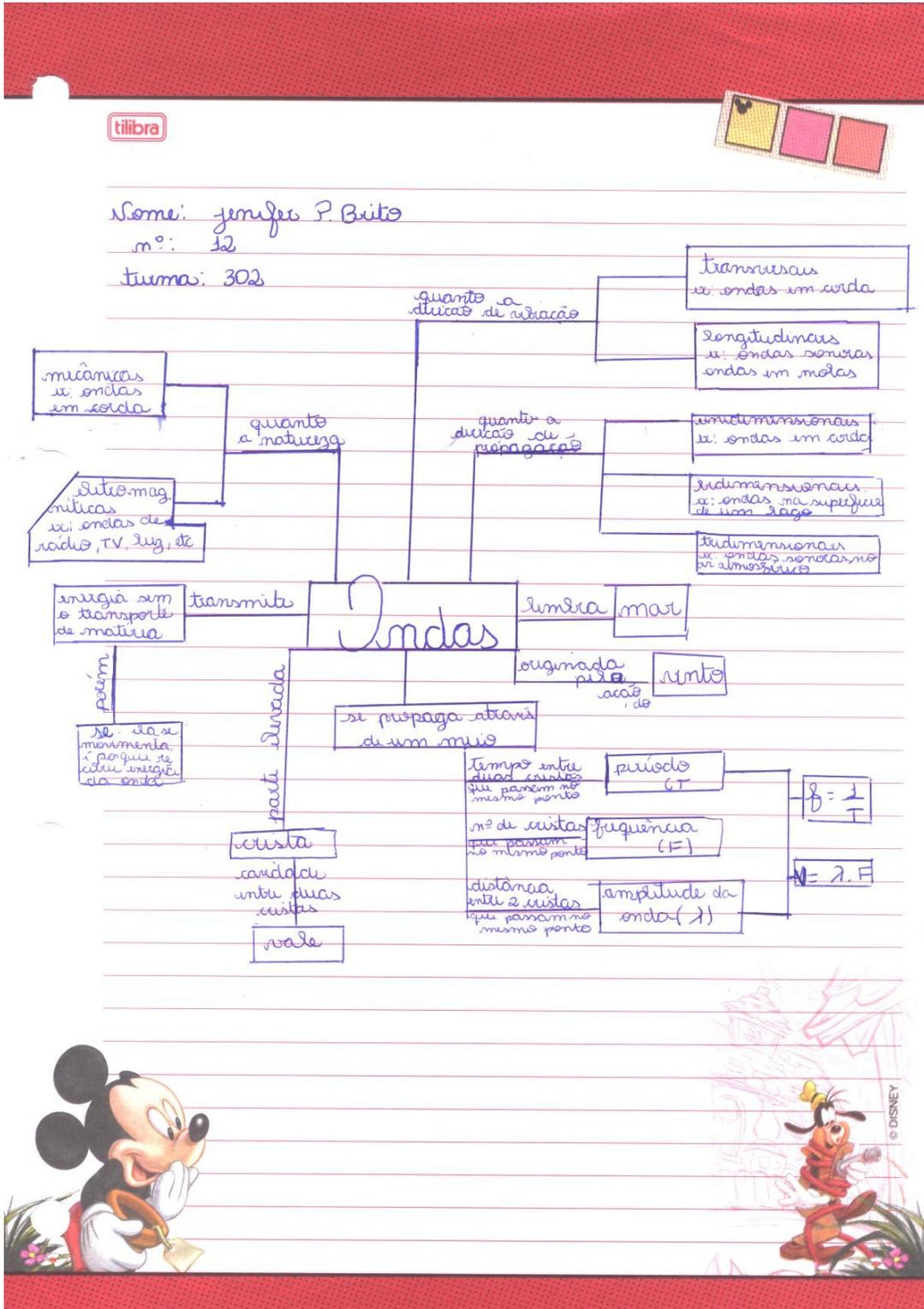


Figura 19 – Segundo mapa conceitual da mesma estudante da figura 18.

CAPÍTULO VI

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi pensando na necessidade de inserir o estudante no contexto da mecânica ondulatória, portal de entrada da física moderna, e levando em conta a falta de estrutura que algumas instituições escolares enfrentam, que foi desenvolvido o projeto *Difração e interferência para Professores do Ensino Médio*, por meio do qual propomos uma abordagem diferenciada para o ensino desses dois fenômenos ondulatórios mais importantes e definidoras de qualquer fenômeno ondulatório. Preparamos, para professores de Física do Ensino Médio, um material instrucional sobre o tema, o qual inclui um hipertexto de apoio, uma seleção de 25 experimentos de baixo custo e uma relação de animações e simulações, acessíveis a partir da Internet, relacionados aos conceitos físicos envolvidos nos experimentos.

Este material foi testado em um modelo didático de aulas prevendo uma intensa participação dos estudantes em todas as atividades e incluindo também o trabalho com mapas conceituais em todas as aulas, tanto com objetivos de reforço pedagógico no processo de aprendizagem como na avaliação da evolução cognitiva dos estudantes. Disponibilizamos o material instrucional desenvolvido para o projeto no servidor Wiki do Instituto de Física da UFRGS. Apesar deste produto ter sido desenvolvido como material de apoio ao professor, pode ser utilizado como material de consulta por parte dos estudantes.

Antes de aplicar este material com as turmas do terceiro ano da E. E. de Ensino Médio Apolinário Alves do Santos, conforme previsto no Projeto, o mesmo material foi utilizado em duas oficinas do projeto *Ciências de Todos*, da Universidade de Caxias do Sul, promovido para professores de Física, Química, Biologia e Ciências do Ensino Médio. Na oficina do dia 01/07/2006, foi abordado o conceito de ondas e suas características, utilizando demonstrações e simulações. Na segunda oficina, ministrada no dia 05/08/2006 foram abordados os seguintes temas: Princípio de Huygens, difração, interferência e fendas múltiplas. A oficina foi bastante interativa, com atividades baseadas nas várias demonstrações experimentais propostas no projeto e sempre complementadas por simulações. As oficinas tiveram duração de 4 horas cada, teve um bom envolvimento por parte dos professores participantes. Durante a preparação das oficinas o material, como textos, foi melhorado para a aplicação com os alunos do terceiro ano.

Após as oficinas, o projeto foi aplicado nas duas turmas de terceiro ano da Escola Estadual de Ensino Médio Apolinário em Caxias do Sul. A turma 301 possui 32 alunos e a turma 302 possui 30 alunos. Nesta fase do projeto foi utilizada uma segunda versão revisada do material instrucional.

A estrutura do Projeto foi pensada para ser aplicada seguindo o referencial teórico baseado na teoria de aprendizagem significativa, do teórico cognitivista, David Ausubel.

De acordo com o referencial teórico, durante a elaboração e aplicação do projeto, procuramos promover:

- O estudo dos fenômenos de difração e de interferência explorando ao máximo os experimentos.
- O uso didático de simulações e aplicativos de computador como organizadores prévios e facilitadores da aprendizagem significativa, como também em suplementação às atividades experimentais.
- Utilização de mapas conceituais, como instrumentos didáticos de ensino/aprendizagem, avaliação e análise dos conhecimentos prévios dos alunos.

A realidade da escola em que o projeto foi aplicado foi, portanto um fator determinante para defini-lo. Sabendo que são várias as instituições escolares, como a nossa, que não dispõe de laboratório de Física e laboratório de Informática, procuramos selecionar materiais de baixo custo e fácil acesso para incentivar a realização de demonstrações em sala de aula.

Acreditamos que apesar da falta de estrutura de muitas instituições escolares, todas podem fazer uso dessa proposta para o ensino da física ondulatória, ou mesmo aplicá-la a outras áreas da Física. O próprio professor ou os alunos, independente da instituição, podem adquirir o material por preços acessíveis e montar as demonstrações sem maiores dificuldades.

Esse projeto foi em parte aplicado nas dependências da universidade, com projetor disponível para apresentar as simulações e acesso à internet. Caso não tivesse essa possibilidade (de aplicar parte do projeto na universidade) seria utilizado um microcomputador, que foi transferido da sala de computadores para o laboratório de Química e Física e as simulações seriam gravadas em CD, uma vez que na escola não havia acesso a internet. A turma seria dividida em grupos e um grupo por vez assistiria as simulações enquanto os demais estariam envolvidos em outras atividades, por exemplo: resolução de exercícios ou traçado de mapas conceituais. Caso a escola não tivesse acesso a microcomputador, o projeto seria efetivado com o uso das demonstrações e dos mapas conceituais. A realidade da escola não inviabiliza o projeto.

Obviamente, se a escola possuir um Laboratório de Física bem equipado, dispondo de equipamentos didáticos mais sofisticados, as aulas experimentais, mesmo nesta metodologia que estamos propondo, serão mais qualificadas. Por outro lado mostramos neste trabalho que podemos obter bons resultados e garantir uma aula descontraída e de qualidade, com demonstrações a partir de material de baixo custo.

Da mesma forma, se a escola dispuser de Laboratório de Informática, onde os estudantes tenham acesso ao computador individualmente ou em pequenos grupos, teremos como alternativa pedagógica na exploração das TICs, deixar os estudantes explorar os aplicativos de acordo com seu ritmo, interagindo com as simulações e animações, permitindo maior abertura para reflexões críticas, discussões que podem levar um maior aprofundamento dos aspectos conceituais e em consequência facilitando a internalização do conteúdo por parte do estudante.

Sugerimos o uso das simulações como organizadores prévios, porém durante o trabalho, o uso das simulações é marcante por complementar as demonstrações, durante as aulas do projeto os estudantes interagiram muito mais com as demonstrações do que com as simulações que no caso só lhes era apresentada, este fato descaracteriza em parte o papel da simulação como organizador prévio. Ao interagir com a simulação, o estudante vai absorvendo novas informações e ancorando a um aspecto relevante da sua estrutura cognitiva, devemos então levar em conta que no momento que a simulação é apresentada pelo professor, o estudante é envolvido pelas interferências que o professor faz durante a apresentação. Outro fator é que os estudantes não possuem as mesmas informações em suas estruturas cognitivas, portanto, nem todos poderão ancorar a nova informação. A solução foi deixar o estudante interagir com as demonstrações e depois deixá-los analisar outras possibilidades com a simulação.

A proposta pedagógica do nosso Projeto contempla em todas as fases uma participação fortemente ativa dos estudantes, ou seja, estes deixam de ser mero expectador e passam a ser o agente da sua aprendizagem, buscando informações, investigando e construindo o conhecimento. Durante as aulas do projeto a participação dos estudantes foi muito importante para dar seqüência às atividades tanto nas demonstrações quanto nas simulações. A proposta previa que no final de cada aula, os estudantes traçassem mapas conceituais, sempre acrescentando os conteúdos aprendidos até o momento.

O uso integrado de demonstração, simulação e mapa conceitual é um dos alicerces da proposta. Sob a orientação da professora, os estudantes interagem com a demonstração, questionam e discutem e a seguir utilizam algum dos aplicativos para analisar o fenômeno simulando condições diferentes daquelas testadas nos experimentos e no final traçam mapas conceituais para analisar e organizar os novos conhecimentos. O professor tem um papel muito importante nessa etapa, deve saber conduzir o uso desses recursos durante a aula, pois, da mesma forma que uma aula tradicional pode saturar o estudante o uso exagerado de uma simulação ou de uma demonstração também causa o mesmo efeito. O professor deve, durante uma simulação ou demonstração, perguntar, provocar e instigar o estudante, conduzindo-o a uma participação ativa (e necessária) na aula.

O trabalho com mapas conceituais deve também merecer uma atenção especial do professor, principalmente quando estes forem utilizados na avaliação dos alunos. Os Mapas Conceituais são uma forma de expressão, como a expressão escrita e oral. Alguns estudantes aprendem rapidamente a expressarem os seus conhecimentos através dos mapas conceituais. Por outro lado alguns estudantes continuarão a encontrar dificuldades no traçado dos mapas conceituais, não importando quanta experiência eles tenham acumulado, do mesmo modo que há estudantes com mais facilidade para escrever ou relacionar os conceitos na forma escrita, enquanto outros o fazem melhor oralmente.

É lógico que nos primeiros traçados de mapas conceituais haja certa dificuldade para todos os estudantes, principalmente porque ainda não dominam muito bem o conteúdo e também por que não estão familiarizados com a forma de expressão através dos mapas, mesmo que já tenham sido trabalhados desde o início do ano letivo. Isso exige um pouco de esforço e pesquisa por parte do

estudante e uma atenção especial da parte do professor, especialmente para com alguns estudantes que encontram dificuldade com esta forma de expressão.

Quanto aos objetivos iniciais do projeto, acreditamos tê-los contemplado, pois, no decorrer da aplicação do mesmo:

- Proporcionamos interação dos estudantes com material experimental para introduzir, investigar e estudar os fenômenos. Uma participação ativa da maioria dos estudantes foi observada tanto nas demonstrações dirigida pela professora como nos projetos de experimentos executados em grupo pelos alunos.
- Complementamos as demonstrações com a exploração aplicativos selecionados da Internet, usados para simular os conceitos vistos nos experimentos, tanto nas condições observadas nas demonstrações como também em condições que não poderiam ser reproduzidas no laboratório. Nas atividades em que era utilizada alguma animação ou simulação os estudantes participavam ativamente, sugerindo quais parâmetros deveriam ser introduzidos ou modificados para simular certo fenômeno. Muitas vezes os estudantes sugeriam o que seria modificado e cogitavam hipóteses a respeito do resultado esperado, simulando a seguir no aplicativo e testando posteriormente com um experimento real.
- Utilizamos o traçado de mapas conceituais como instrumento didático de apoio ao processo de aprendizagem dos alunos bem como para a avaliação e o acompanhamento da evolução da estrutura cognitiva dos estudantes em relação aos conceitos estudados. Testamos e mostramos a importância dos Mapas Conceituais como instrumento de apoio pedagógico.
- Motivamos os estudantes que, de certa forma, não se sentiam envolvidos no decorrer das “aulas tradicionais”.

O comportamento dos estudantes durante as aulas, representado principalmente pela intensa e entusiástica participação em todas as atividades, complementada pela expressa manifestação da maioria deles, tanto durante as aulas como nas respostas aos questionários que lhes foi entregue no final do projeto (**Apêndice C**), deixa evidente a repercussão positiva da nossa proposta junto a eles. A combinação “demonstração e simulação” os deixaram mais motivados, atentos e participativos, mesmo entre os estudantes que não simpatizam com a disciplina. Um resultado dessa motivação é o aplicativo em FLASH sobre difração, desenvolvido pelo estudante Felipi da turma 302, aplicativo este que foi utilizado em uma das aulas.

O trabalho em grupo proporciona aos estudantes, estímulo à pesquisa, resolução de problemas e estruturação dos conhecimentos. Estimula o estudante a encarar o trabalho como uma oportunidade de aprendizagem e não como um dever para obter nota. Nas apresentações dos trabalhos, houve grupos que trouxeram sugestões ou aplicações do cotidiano, se deram conta de novos conceitos físicos envolvidos no experimento durante a pesquisa para a apresentação dos seus projetos e em alguns casos criaram versões alternativas do próprio experimento.

Os estudantes tiveram diversos instrumentos de avaliação como: mapas conceituais, entrega de exercícios, realização de um projeto em grupo finalizado com apresentação oral frente aos colegas e entrega de relatório e uma prova escrita. O uso dos mapas conceituais, que eram reescritos pelos alunos ao final de cada aula, certamente tem destaque como instrumento para acompanhar o processo de aprendizagem e avaliar o grau de internalização dos novos conceitos.

O material instrucional sobre o conteúdo apresentado durante o projeto foi elaborado e publicado na Internet através de um editor Wiki, disponibilizado em um servidor Web do Instituto de Física da UFRGS. A organização do material instrucional deu início com a elaboração de um “roteiro de aulas” que culminou no hipertexto “Ondas”, disponível no endereço: <http://davinci.if.ufrgs.br/wiki/>.

Este material instrucional foi desenvolvido como material de apoio ao professor da disciplina, no entanto pode ser também utilizado como material de consulta pelos alunos. O material proposto contém um texto básico sobre todo o conteúdo tratado ao longo do projeto e alguns textos adicionais relacionados com o tema. Junto ao material está uma descrição completa e detalhada dos experimentos desenvolvidos ao longo do projeto e uma descrição das animações e aplicativos utilizados no projeto.

Neste hipertexto estão reunidos: textos, figuras, imagens, animações, e simulações, descrições das atividades práticas e descrições de demonstrações para serem realizadas na sala de aula, questões e textos complementares, contendo informações extras de conteúdos ligados ao tema principal do projeto “Difração e Interferência”.

O Wiki se caracteriza por ser uma ferramenta de produção coletiva (colaborativa) de hipertextos. Possui uma linguagem de edição simplificada que possibilita aos usuários acessar, consultar e editar páginas de hipertexto em tempo real, de maneira simples e rápida. Qualquer pessoa pode editar um artigo e em seguida verificar as mudanças efetuadas. O editor Wiki mantém um controle de permissões (visualização e edição de páginas) para os diferentes tipos de usuários ou grupos de usuários. O acesso, edição e publicação são realizados através de Navegador/Internet, permitindo cópias “backup” de cada edição de página. Todas as versões anteriores são mantidas em arquivos para pesquisa e revisão.

De acordo com a própria filosofia dos Wikis, o material publicado está e sempre estará em construção, ou seja, o material publicado poderá ser continuamente ampliado, corrigido ou modificado tanto por nós como por qualquer pessoa da comunidade que tem acesso ao servidor Wiki do Instituto de Física. Nós pretendemos em especial continuar ampliando o número de experimentos descritos na página do projeto no servidor Wiki, ampliando também a lista de animações sobre o tema, além de um contínuo aperfeiçoamento dos textos e aplicação das correções necessárias. Esperamos contar com a colaboração de todos os voluntários interessados.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 176-194, jun. 2003.

BRASIL, Ministério da Educação. Secretaria de Educação a Distância. **De onde vem a onda?** Brasília: MEC, 2002. 1 DVD (3 min, 7s). (Escola Ciências).

BRAUN, L. F.; BRAUN T. A montagem de Young no estudo da interferência, difração e coerência de fontes luminosas. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 11, n. 3, p. 184-195, dez. 1994.

CATELLI, F.; VICENZI, S. Laboratório caseiro: interferômetro de Michelson. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 18, n. 1, p. 108-116, abr. 2001.

CAVALCANTE, M. A.; JARDIM, V.; BARROS, J. A. Inserção de física moderna no ensino médio: difração de um feixe laser. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 16, n. 2, p. 154-169, ago. 1999.

CUNHA, S. **Centro de Referência para o Ensino de Física UFRGS**. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/cref/aplicativos/pontilhismo.htm>>. Acesso em: 05 maio 2006.

FENDT, W. **Applets Java de Física**. Disponível em: <<http://www.walterfendt.de/ph11br>>. Acesso em: 05 maio 2005

FUN-KWUN HWANG. **NTNU JAVA - Virtual Physics Laboratory**. Disponível em: <<http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava>>. Acesso em: 06 maio 2005

GALLI, C.; SALAMI, M. A. Laboratório caseiro: registros de figuras de difração da luz em papel fotográfico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 16, n. 2, p. 154-169, ago. 1999.

GARCIA, Nilson Marcos Dias, KALINOWSSKI, Hipólito José. Um espectroscópio simples para uso individual. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 11, n. 2, p. 134-140, 1995.

GASPAR, A. **Física: Série Brasil: Ensino Médio**. São Paulo: Editora Ática, 2004. Volume Único.

GASPAR, A. **Física: Série Brasil: Ensino Médio**. São Paulo: Editora Ática, 2004. Manual do Professor. Volume Único.

KISELEV, S; KISELEV, T. Y. **Single-Slit Diffraction**. Disponível em: <http://www.physics.uoguelph.ca/applets/Intro_physics/kisalev/java/slitdiff/index.html>. Acesso em: 12 maio 2006.

MICHIGAN STATE UNIVERSITY (Core Member); University of Illinois at Urbana-Champaign (Core Member); Simon Fraser University (Associate Member. **The LearningOnline Network with CAPA**. Disponível em: <<http://lectureonline.cl.msu.edu/~mmp/kap13/cd371.htm>>. Acesso em 06 jul. 2006.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999a.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa**. Brasília: UnB, 1999b.

MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais no ensino da física**. Porto Alegre: Instituto de Física – UFRGS, 1992. (Textos de apoio ao Professor de Física, n.3).

NAVE, C. **HyperPhysics**. Disponível em: <<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/multislide.html#c4>>. Acesso em: 21 jun. 2005.

PEDRO, L. F.; MOREIRA, A., Os hipertextos de flexibilidade cognitiva e a planificação dos conteúdos didáticos: um estudo com (futuros) professores de línguas. **Revista de Enseñanza y Tecnología** – Sep. – Dic. 2000, Disponível em <<http://tecnologiaedu.us.es/bibliovir/pdf/19art4.pdf>>. Acesso em 01 dez. 2006.

RUSSEL, D. **Kettering University Applied Physics**. Disponível em: <<http://www.kettering.edu/~drussell/Demos/waves-intro/waves-intro.html>>. Acesso em 26 jun. 2005.

UNIVERSITY OF CAMBRIDGE. The cavendish laboratory. Disponível em: <http://www-outreach.phy.cam.ac.uk/camphy/xraydiffraction/xraydiffraction3_1.htm>. Acesso em 10 set. 2005.

TAVARES, R., **Aprendizagem significativa e o ensino de ciências**, In: REUNIÃO NACIONAL DE PÓS GRADUAÇÃO, Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Educação, 28., 2005, João Pessoa. **Anais eletrônicos**. Disponível em: <<http://rived.proinfo.mec.gov.br/artigos/2005-XXVIII%20ANPED.pdf>>. Acesso em 04 out. 2006.

TAVARES, R., SANTOS, J. N. dos., **Organizador prévio e animação interativa**, In: International meeting on meaningful learning, IV, 2003, Marqagogi-AI. **Anais eletrônicos**. Disponível em: <<http://rived.proinfo.mec.gov.br/artigos/2003-IV%20EIAS.pdf>>. Acesso em 01 dez 2006.

NORTHWESTERN UNIVERSITY, The department of physics and astronomy. **The Virtual Physics Laboratory. Young's Double Slit Experiment and N-slit Diffraction**. Disponível em: <<http://www.physics.northwestern.edu/ugrad/vpl/optics/diffraction.html>>. Acesso em 12 dez. 2005.

VTOROV, S. **Wave Optics for Internet**. Disponível em: <<http://vsg.quasihome.com/interf.htm>>. Acesso em 06 abr. 2006.

ZOBEL, E. **Wave propagation and Huygens' principle several sources patterns**. Disponível em: <<http://id.mind.net/~zona/mstm/physics/waves/propagation/huygens3.html>>. Acesso em 06 abr 2006.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Hipertexto na Wiki

Disponibilizamos na Wiki do Instituto de Física um Texto de Apoio intitulado “Ondas” que servirá de apoio para os professores de ensino médio preparar suas aulas, buscando suporte no que diz respeito às atividades experimentais (os alunos também poderão consultar). Estão disponíveis 25 demonstrações acompanhadas de textos com imagens e simulações para um embasamento teórico.

A organização do material instrucional deu início com a elaboração de um “roteiro de aulas” que culminou em um hipertexto, disponível no endereço: <http://davinci.if.ufrgs.br/wiki/>.

Neste hipertexto estão reunidos: Textos, figuras, imagens, animações, applets, atividades práticas e demonstrações para serem realizadas na sala de aula, questões em sua maioria teórica e textos complementares, contendo informações extras de conteúdos ligados ao tema principal do projeto “Difração e Interferência”.

No texto de apresentação estão selecionados os principais tópicos como: Propriedades e Características (das ondas), Superposição, Interferência, Difração, Princípio de Huygens, Fenda Dupla e Redes de Difração.

O texto introdutório da página inicial já dá uma noção do que vem a ser uma onda, além de fornecer um histórico a respeito da importância do estudo de ondas e da física ondulatória para compreender fenômenos do cotidiano, desde o início da vida na Terra até a mais moderna tecnologia.

Em “**Propriedades e Características**”, são abordadas todas as informações a respeito da característica das ondas como natureza, direção de propagação, direção de vibração e elementos da onda como crista, vale, período, frequência, amplitude, comprimento de onda e velocidade da onda. Neste mesmo tópico o estudante tem a possibilidade de acessar uma página sobre polarização para compreender melhor esta propriedade das ondas.

No tópico “**Superposição**”, é discutido o fenômeno a partir da propriedade de reflexão de ondas; é utilizado o exemplo de ondas numa corda para discutir a reflexão em extremidades livres ou fixas. Discute-se os resultados da superposição como interferência construtiva e destrutiva, ondas estacionárias e batimentos.

Em “**Interferência**” o texto introdutório aborda aspectos históricos da natureza da luz: onda ou partícula? No desenrolar do texto, surgem títulos que remetem a outras páginas como “**interferência em filmes finos**”, “**Interferômetro de Michelson**” e “**Interferômetro de Mach Zender**”.

No tópico “**Difração**”, é feita uma investigação a respeito da propriedade das ondas de transpor fendas e obstáculos. No mesmo texto, palavras chaves remetem a novas páginas com conteúdos e informações específicas a respeito de “**difração em sombras**”, “**difração em fendas**”, “**difração em fios**” e “**difração em Orifícios**”.

Em “**Princípio de Huygens**”, é apresentado um modelo que explica satisfatoriamente o comportamento das ondas ao passar por obstáculos ou barreiras. Também apresenta o modelo aplicado na reflexão e refração das ondas.

Em “**Fenda dupla**”, é retomado o conceito de interferência construtiva e destrutiva para analisar o experimento de Young, e compreender historicamente a importância do experimento. É discutido o assunto **coerência**, indispensável para que ocorra a interferência (pelo menos para se obter um padrão estável).

No tópico “**Redes de difração**”, é estudado o que vem a ser uma rede de difração, que há materiais no cotidiano que são considerados redes de difração como CD, DVD, penas de galinha. Faz-se um estudo sobre o padrão de difração que é obtido através da rede e o que é um espectroscópio.

Logo abaixo do texto aparecem outras opções (figura 2) como:

- “**Faça em aula!**” Apresenta uma variedade de demonstrações para serem feitas em aula.
- “**Tem que resolver!**” Apresenta uma lista de exercícios, teóricos e problemas para cada tópico do assunto.
- “**Para visitar!**” Há uma relação de sítios com textos, figuras e animações.
- “**Textos complementares**”: Para quem procura aprofundamento em algum assunto que esteja ligado ao tema. Textos disponíveis são: “**Matemática da onda**” descreve a função seno da onda; “**Matemática da interferência**” e “**Matemática da Difração**” que descrevem, respectivamente, a dedução da equação a partir dos padrões que surgem no anteparo; “**laser**”, uma vez que na maioria dos experimentos utilizamos o laser, este texto esclarece a respeito do funcionamento de um laser; “**A Física do Surf**”, remete a endereços que esclarecem sobre o tipo de onda que um surfista pega, discute a pergunta padrão que os alunos fazem: Onda não transporta matéria e por que então transporta o surfista?; “**Raio X**”, explica a descoberta, o funcionamento e aplicações do RX, este texto foi elaborado por estudantes do instituto de Física. O subtítulo “**Difração de RX**” relata a utilização de cristais como rede de difração de Raio X e sua utilização na ciência e tecnologia.

O Wiki se caracteriza por ser uma ferramenta de produção colaborativa de hipertextos, que permite a produção coletiva (colaborativa) de conteúdo para a Internet de maneira simples e rápida. Possui uma linguagem de edição simplificada, sendo de fácil criação, edição e publicação de páginas. Qualquer pessoa pode editar um artigo e em seguida verificar as mudanças efetuadas. Um controle de permissões (visualização e edição de páginas) para os diferentes tipos de usuários ou grupos de usuários. O acesso, edição e publicação são realizados através de um Navegador da Internet (Mozilla/Firefox, Internet Explore, Opera, etc), permitindo cópias “backup” de cada edição de página. Todas as versões anteriores são mantidas em arquivos para pesquisa e revisão.

A estrutura de hipertexto característica dos Wiki promove a aprendizagem significativa, de acordo com a Teoria da Flexibilidade Cognitiva, pela qual busca-se a transferência de conhecimento

para novas situações. “Assim, o sujeito quando deparado com uma situação detentora de novidade, seja capaz de reestruturar as suas estruturas de conhecimento de forma a solucionar um dado problema” (PEDRO & MOREIRA – 2000). Ainda, citando Pedro&Moreria:

"A Teoria da Flexibilidade Cognitiva (TFC) foi proposta na década de 80 por Rand Spiro e colaboradores. É, segundo seus autores, uma teoria de aprendizagem, da representação e do ensino (Spiro et al,1988). O desenvolvimento da flexibilidade cognitiva requer múltiplas representações do conhecimento, favorecendo estas a transferência de conhecimento para novas situações. A teoria encontra-se orientada para a aquisição de conhecimento em níveis avançados. Não se pretende, deste modo, a mera memorização de um assunto. Pretende-se, isto sim, que o sujeito, quando deparado com uma situação detentora de novidade, seja capaz de reestruturar as suas estruturas de conhecimento por forma a solucionar um dado problema,isto é, adquira a flexibilidade cognitiva necessária para a transferência do conhecimento...."

...Um argumento central da TFC é que a revisitação do mesmo material, em tempos diferentes, em contextos rearranjados, com propósitos diferentes e a partir de diferentes perspectivas conceptuais, é essencial para atingir a mestria da complexidade, a compreensão e a preparação para a transferência (Spiro et al, 1991)...

Os ambientes hipertextos são bons candidatos à promoção da flexibilidade cognitiva em domínios pouco estruturados. Foi já referida a necessidade de rearranjo de seqüências de instrução que permitam múltiplas dimensões de representação do conhecimento. Estas características encontram um feedback positivo em propriedades dos sistemas hipertextos, que facilitam a reestruturação de seqüências do ensino, múltiplas codificações dos dados e múltiplas ligações entre elementos de conteúdo." (PEDRO e MOREIRA – 2000)

APÊNDICE B

Avaliações Aplicadas

EEEM APOLINÁRIO	Avaliação de Física	Profª Scheila
Nome: _____	nº _____	Turma: _____
Data: ____/____/____	III Trimestre	Peso: 12 pontos
		Nota: _____
Critérios de Avaliação: Não será considerada a questão que estiver rasurada, com corretivo, com unidades e sinais errados e sem justificativa. Escrever à caneta a resposta final. Bom Trabalho!		

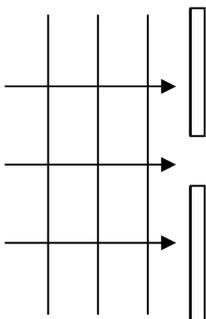
1) Assinale abaixo a alternativa que melhor responde a questão:

“Cada ponto de uma frente de ondas se comporta como uma nova fonte de ondas secundárias, esféricas, que podem ser chamadas de ondículas secundárias e o envoltório destas ondículas é considerado uma nova frente de ondas.” Para explicar como se formam as frentes de onda este princípio foi desenvolvido por:

- a) Young b) Bragg c) Huygens d) Newton e) Röntgen

2) As ondas de rádio ao contornarem um prédio, sofrem uma difração mais acentuada do que as ondas de TV. Qual dessas duas ondas tem maior comprimento de onda?

3) O esquema abaixo representa um feixe luminoso de raios paralelos incidindo sobre um obstáculo no qual existe uma fenda de largura comparável ao comprimento de onda da luz. As linhas verticais representam as cristas da onda que podemos considerar como frentes de ondas e as setas que indicam o sentido da propagação representam os raios.



a) Desenhe na figura ao lado, as frentes de ondas e os raios após passar pela fenda.

b) Caso o comprimento de onda fosse reduzido para um quarto do comprimento de onda mostrado na figura, explique como as frentes de onda após a passagem pela fenda se modificam comparadas com o caso anterior.

4) Você deseja medir o diâmetro do fio de cabelo do seu colega para isso, você dispõe de um laser com um comprimento de onda de 640nm . Depois de arrancar o fio, vocês colocam o mesmo diante do feixe de laser e ajustam até projetar na parede uma figura de difração, em seguida, medem a distância entre o fio e a parede, obtendo $4,39\text{m}$ e a distância entre o máximo central (ponto mais brilhante) e a 2ª mancha escura ($m=2$), obtendo $5,55\text{cm}$. Calcule o diâmetro “a” do fio de cabelo.

5) Explique em que situações podem ocorrer a interferência construtiva e a interferência destrutiva.

6) Assinale a alternativa que melhor responde a questão: Na experiência da Fenda dupla, Young mostrou que a luz:

- a) possui comportamento ondulatório.
- b) possui comportamento de partícula.
- c) não sofre interferência.
- d) é uma onda longitudinal.

7) A expressão $m\lambda = d\sin\theta$ foi apresentada numa aula em que estávamos analisando a experiência de Young. Explique o significado de cada símbolo que nela aparece.

8) Dê um exemplo de fonte coerente e de fonte incoerente.

9) Em relação às cores que aparecem no CD quando o expomos a luz, podemos afirmar que:

01. Cada cor representa um comprimento de onda diferente e os máximos referentes a esses comprimentos de onda diferentes aparecem em direções diferentes.

02. A rede de difração efetua a dispersão da luz incidente produzindo a separação da luz em cores segundo o comprimento de onda ou frequência. (Uma certa frequência corresponde a um comprimento de onda).

04. As regiões de interferência construtiva para a luz vermelha, por exemplo, estão localizadas nas mesmas regiões das luzes azuis, amarelas,...

08. Podemos observar o espectro quando a luz incidente atravessa uma fenda e segue na direção da rede de difração e é projetada no anteparo. As imagens da fenda correspondente a cada um dos comprimentos de onda individuais emitidos por esta fonte são chamadas de linhas espectrais.

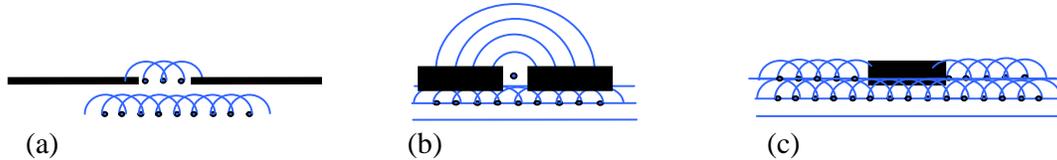
16. O instrumento que permite visualizar as linhas espectrais de um objeto luminoso é chamado espectroscópio.

Dê como resposta a soma dos números associados às afirmações corretas.

EEEM APOLINÁRIO	Estudos de Recuperação	- Física	Profª Scheila
Nome: _____	nº _____	Turma: _____	
Data: ____/____/____	III Trimestre	Peso: 12 pontos	Nota: _____

Critérios de Avaliação: Não será considerada a questão que estiver rasurada, com corretivo, com unidades e sinais errados e sem justificativa. Escrever à caneta a resposta final, quando julgar necessário tente fazer um desenho para ilustrar a resposta.. Bom Trabalho!

1) Observe atentamente as figuras, e a seguir assinale abaixo a alternativa que completa a frase:

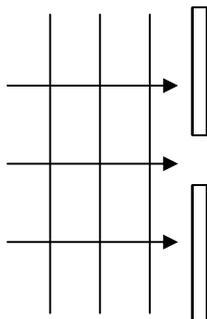


As figuras acima, referem-se à propriedade de _____, e é fundamentada no _____.

- a) Interferência - Princípio de Young
- b) Difração - Princípio de Huygens
- c) Difração - Princípio de Young
- d) Interferência - Princípio de Huygens

2) Um muro espesso separa duas pessoas que conversam, elas não se vêem, mas se escutam claramente uma a outra. O que explica o fato das pessoas se ouvirem?

3) O esquema abaixo representa um feixe luminoso de raios paralelos incidindo sobre um obstáculo no qual existe uma fenda de largura comparável ao comprimento de onda da luz. As linhas verticais representam as cristas da onda que podemos considerar como frentes de ondas e as setas que indicam o sentido da propagação representam os raios.



a) Desenhe na figura ao lado, as frentes de ondas e os raios após passar pela fenda.

b) Caso o comprimento de onda fosse reduzido para um quarto do comprimento de onda mostrado na figura, desenhe como as frentes de onda após a passagem pela fenda se modificam comparadas com o caso anterior.

4) Numa aula de difração, a professora pede para um aluno ceder um fio de cabelo para que seja calculada a medida da espessura do fio. Uma aluna cede o fio e os demais estudantes montam o experimento utilizando um laser, com um comprimento de onda de 661nm. Colocam o cabelo da colega em um suporte e o posicionam de modo a bloquear parcialmente a passagem do feixe de

laser com o fio, na parede, surge uma figura de difração. Animados, os estudantes medem a distância entre o fio de cabelo e a parede, obtendo 4,40m e a distância do centro da segunda mancha escura ($m=2$) até o máximo central (ponto central mais brilhante) obtendo 8,2cm. Qual é o valor do diâmetro do fio de cabelo que os estudantes encontraram?

5) Em que condições a superposição das duas ondas se cancelam? (Faça um desenho para ilustrar sua resposta).

6) A expressão $m\lambda = d\sin\theta$ foi apresentada numa aula em que estávamos analisando a experiência de Young. Explique o significado de cada símbolo que nela aparece.

7) Julgue as alternativas a seguir, marcando C quando considerar correta e E quando considerar errada.

() Duas fontes são coerentes quando a diferença de fase entre elas se mantém constante no tempo.

() Para observar mais claramente o fenômeno da interferência, é preciso ter fontes vibrando em fase constante, as chamadas fontes incoerentes.

() Um exemplo de fonte coerente é o laser e um exemplo de fonte incoerente é uma lâmpada.

8) O que é uma rede de difração?

APÊNDICE C

Questionário para Avaliação da Metodologia

Entrevista com os alunos:

Eu _____, aluno da turma _____

() autorizo () não autorizo

a professora Scheila Vicenzi a usar os materiais (listas de exercícios, provas, questionários, relatórios, imagens de sala de aula e apresentação de relatórios) em sua dissertação de mestrado e no hipertexto Difração e Interferência para professores do Ensino Médio, que deverá acompanhar, em CD a dissertação.

Assinatura

No período em que se realizavam as aulas, você estudou (leu ou assistiu) algum texto de apoio, artigo, livro, vídeo ou filme, que trate do assunto Difração e Interferência?

() sim () não Qual ?.....

Você já havia aprendido em algum lugar o conteúdo ondas, interferência ou difração antes de iniciar as nossas aulas?

() sim () não Onde ?.....

Responda as seguintes questões, utilizando o verso da folha para completar qualquer uma das respostas abaixo.

1. Você acha importante aprender Física, por quê? _____

2. No seu dia a dia onde você vê a Física aplicada? _____

3. Sobre as aulas de Física, de um modo geral, qual a sua opinião? _____

4. Você está conseguindo aprender nas aulas de Física? Avalie a sua aprendizagem na disciplina.

5. Você acha que a utilização das animações nas aulas de Física está facilitando a sua aprendizagem? _____

6. O uso de animações o está deixando mais interessado? _____

7. Qual (is) a(s) animação (ões) que mais lhe chamou a atenção? _____

8. Você acha que as demonstrações facilitam a aprendizagem da Física? De que forma? _____

9. A realização das demonstrações lhe deixou mais motivado para aprender?

10. Qual a demonstraco que mais lhe chamou a atenco? _____

11. Você acha que as animaoes poderiam substituir as demonstraoes? _____

12. Você considera que o mapa conceitual facilitou o entendimento da matéria? De que forma?

13. Você consultou o material disponível no CD para fazer o mapa conceitual? Consultou outros materiais? Cite quais: _____

14. Nos últimos mapas conceituais que você fez, sentiu necessidade de consultar todo o material ou já havia assuntos que você podia escrever sem consultar o material? Quais?

Registro das entrevistas - Turma 301

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Respostas dos alunos sobre material de apoio (extra – aula) utilizado durante a aplicação do projeto.

Tabela 2 – Respostas dos alunos sobre conhecimento do conteúdo antes da instrução.

Tabela 3 – Respostas dos alunos sobre a importância de aprender Física.

Tabela 4 – Respostas dos alunos sobre a aplicação da Física no dia a dia.

Tabela 5 – Respostas dos alunos sobre as aulas de Física.

Tabela 6 – Respostas dos alunos sobre o que estão conseguindo aprender nas aulas de Física.

Tabela 7 – Respostas dos alunos sobre a utilização das animações como facilitador da aprendizagem.

Tabela 8 – Respostas dos alunos sobre o seu interesse nas aulas em função das animações.

Tabela 9 – Respostas dos alunos sobre as animações que mais lhe chamaram a atenção.

Tabela 10 – Respostas dos alunos sobre as demonstrações como facilitadoras da aprendizagem.

Tabela 11 – Respostas dos alunos sobre seu interesse nas aulas em função das demonstrações.

Tabela 12 – Respostas dos alunos sobre as demonstrações que mais lhe chamaram a atenção.

Tabela 13 – Respostas dos alunos sobre as animações substituindo as demonstrações.

Tabela 14 – Respostas dos alunos sobre o mapa conceitual como facilitador da aprendizagem.

Tabela 15 – Respostas dos alunos sobre as consultas que tiveram que fazer para construir o mapa conceitual.

Tabela 16 – Respostas dos alunos sobre quais conteúdos não eram mais necessários serem consultados para construir o mapa.

Tabela 17 – Comentários críticos dos alunos sobre o CD disponibilizado.

Tabela 18 – Comentários críticos dos alunos sobre a realização de experimentos, animações, mapas conceituais ou qualquer outra natureza.

Tabela 1 – Respostas dos alunos sobre material de apoio (extra – aula) utilizado durante a aplicação do projeto.

Aluno	No período em que se realizavam as aulas, você estudou (leu ou assistiu) algum texto de apoio, artigo, livro, vídeo ou filme, que trate do assunto Difração e Interferência?		
	Sim	Não	Qual?
1	X		“Vi alguns sites na Internet”.
2		X	
3	X		“Física Moderna – Física Beatriz Alvarenga”.
4		X	
5	X		“Em livros de física”.
6	X		“CD, livro de física (do colégio)”.
7		X	
8	X		“Filme de ondas”.
9	X		“Física nova”.
10	X		“Texto (procurei na Internet”.
11	X		“O texto que esta no CD”.
12		X	
13		X	
14		X	
15	X		“Livro física – Beatriz Alvarenga / Física conceitual”.
16		X	
17	X		“O texto do CD, texto na Internet”.
18	X		“Os textos do CD”.
19		X	
20		X	
21		X	
22		X	
23	X		“Filme de ondas”.
24	X		“O livro novo (Gaspar)”.
25		X	
26		X	

Tabela 2 – Respostas dos alunos sobre conhecimento do conteúdo antes da instrução.

Você já havia aprendido em algum lugar o conteúdo ondas, interferência ou difração antes de iniciar as nossas aulas:			
Aluno	Sim	Não	Onde?
1		X	
2		X	
3		X	"Nunca tinha visto antes".
4		X	
5		X	
6		X	
7		X	
8		X	
9		X	
10		X	
11		X	
12		X	
13		X	
14		X	
15		X	
16		X	
17		X	
18	X		"Em filmes, mas nunca prestei bem atenção".
19		X	
20		X	
21		X	
22		X	
23		X	
24		X	
25		X	
26		X	

Tabela 3 – Respostas dos alunos sobre a importância de aprender Física.

Aluno	Você acha importante aprender Física, por quê?
1	"Sim, porque o que eu quero fazer no vestibular envolve bastante física e matemática".
2	"Eu acho, porque eu acho importante saber o motivo das coisas acontecerem, o porque das coisas se moverem de tal forma".
3	"Sim eu considero muito importante porque a física está presente no nosso dia a dia, e só ela pode explicar inúmeras situações e fatos do nosso cotidiano".
4	"Sim, pois a física explica fatos do dia a dia que nós talvez não sabemos o porque acontece, a física é um conteúdo amplo e bem interessante!".
5	"Sim, pois tudo gira em torno da física. A física é muito importante para a sobrevivência da humanidade".
6	"Sim, porque a física desvenda "segredos", explica fenômenos da natureza, etc.".
7	"Sim, porque a física está presente no dia a dia das pessoas por isso é preciso aprender".
8	"Sim, pois tudo que acontece em nosso dia a dia, está de uma certa forma relacionado com física".
9	"Sim, a física está presente em qualquer coisa que se faça, com sua teorias e explicações. É importante, pois se descreve fenômenos e se estuda o porque e como acontece. Física é um quebra-cabeças, juntando as partes você os monta".
10	"Não só física mais todas as matérias são importantes. A física é muito importante e interessante porque a física está sempre no nosso dia a dia e se torna interessante quando aprendemos ou descobrimos como funciona algo".
11	"Eu acho importante, porque na física podemos explicar a maioria das coisas, sem ela não teríamos eletricidade, automóveis e muito mais".
12	"Sim, porque a física hoje está presente em tudo o que fizemos".
13	"Sim, porque é o modo de ver como funcionam as coisas, o que acontece e porquê acontecem".
14	"Sim, entender como acontecem as coisas e porquê acontecem".
15	"Sim, porque ela abrange situações cotidianas de nossa vida, a física está em toda a parte e você estudando ela tem a capacidade de compreender situações e assuntos que não tinham idéia de seu surgimento e funcionamento. Ex: que a luz é onda..."
16	"Sim. Porque a física nos ajuda a compreender vários fenômenos, além de vários outros assuntos".
17	"Sim, porque são assuntos do nosso dia a dia que passam sem serem percebidos".
18	"Sim, de uma certa forma, física é um pouco matemática, em que sentido: se pararmos pra pensar, tudo que fazemos tem física, as coisas do nosso dia a dia, então porque não aprender as leis da física?"
19	"Sim, porque você aprende coisas que não entende porque e como acontecem".
20	"Acho importante, nos faz ficar menos ignorantes em relação a coisas do nosso cotidiano".
21	"É importante aprender física, porque ela nos ajuda a compreender alguns fenômenos e sairmos de situações perigosas (temporais), a matéria está diretamente relacionada com as nossas vidas".
22	"Eu acho importante e admiro o trabalho das pessoas dessa área como também reconheço sua influência em nossas vidas, mais para a minha pessoa em particular, como poeta a essência de uma coisa é a arte da criação e não do que é feita".
23	"Sim, a física está envolvida em tudo ao nosso redor, e se não estudarmos não perceberemos essa fantástica matéria no nosso cotidiano".
24	"Sim, porque a física tem explicado muitas coisas, com ela aprendemos como funcionam ou são feitas muitas coisas, aprendemos sobre muitos fenômenos da natureza".
25	"Sim, é importante como todas as outras matérias, sendo fundamental para o nosso dia a dia e o futuro".
26	"Sim, você aprende muita coisa que você nem tinha noção que existia e como era, às vezes você pode estar aplicando muitas vezes em sua vida e sem notar".

Tabela 4 – Respostas dos alunos sobre a aplicação da Física no dia a dia.

Aluno	No seu dia a dia onde você vê a Física aplicada?
1	"Posso dar exemplos em vários lugares, como na minha casa, com aparelhos eletrônicos, meu serviço tem uma máquina que produz "muita onda", a máquina de lavar louça".
2	"Em como nos mantemos em pé, nas ondas, no sol, na chuva, nos raios..."
3	"Sim ela está presente em tudo que a gente faz, sente, etc. Mas às vezes não as conhecemos por este nome, e isso passa despercebido".
4	"Sim, pois a física explica fatos do dia a dia que nós talvez não sabemos explicar o porque acontece, a física é um conteúdo amplo e bem interessante!".
5	"Sim. O movimento dos carros, veículos em geral, a irradiação do sol, ondas de TV, de rádios, gerando o som, velocidade e muito mais".
6	"Sim".
7	"Nas ondas de rádio, nos automóveis e em muitos outros lugares".
8	"Ao ligar um chuveiro, ao ascender uma lâmpada, ao ligar aparelhos domésticos, ao ouvir música, olhar TV, nas ondas do mar, nos raios solares, em tudo isto, é possível perceber a física".
9	"A física está exposta em qualquer meio de que realize trabalho ou apenas que seja uma produção da natureza. Ela explica tudo o que há de mais curioso, tendo como objetivo o aprendizado".
10	"Em quase todos os lugares encontramos a física, nas coisas que fazemos ouvimos..."
11	"desde uma tempestade com raios e trovões, no andar das pessoas, na luz, no som".
12	"Vejo a física quando estamos andando, nos carros, rádios, etc.".
13	"Sim. Pelo fato de entender alguns conceitos, a física aplicada no dia a dia não passa despercebida".
14	"Em tudo, no nosso corpo, em toda a nossa volta, em nossa casa, no tempo".
15	"Em todos os lugares. Quando você anda de ônibus sofre inércia, em casa quando usa eletricidade, quando anda de carro por uma certa distância em uma velocidade x. Em fim as situações são inúmeras".
16	"Em tudo praticamente, se você realizar toda ação nossa corresponde a uma reação, se eu também estiver levantando um objeto estou usando força".
17	"Em tudo, no ar, no caminhar, correr, levantar algo entre outros".
18	"Quando escutamos música".
19	"Em tudo, nas ondas, nos objetos, nas nuvens, etc.".
20	"Quando ocorrem tempestades, na luz, no som, no movimento (de pessoas, carros), etc.".
21	"Vejo a física dentro do ônibus, no rádio, nos fios e transformadores da rede elétrica, nos raios e trovões, motores, na água".
22	"Provavelmente em tudo, mas reconhecendo minhas limitações a estes assuntos, ela passa quase que despercebida pelos meus olhos".
23	"No som de um rádio, TV, luz, até no som de uma voz, ventos, ao ligar uma lâmpada, chuveiro. Tudo isso está aplicado à física".
24	"Na natureza, nos eletrodomésticos".
25	"Em tudo. Ex: mar, ar, nuvens, trovão..."
26	"A gente vê muito de física até mesmo na televisão muitos programas tem alguma coisa relacionada com física nas próprias matérias de casa, os eletrodomésticos a própria luz a lâmpada como já estudamos".

Tabela 5 – Respostas dos alunos sobre as aulas de Física.

Aluno	Sobre as aulas de Física, de um modo geral, qual a sua opinião?
1	"Este ano são as melhores aulas de física que eu já tive nesses três anos, bem ou mal eu estou entendendo um pouco mais da matéria, mesmo não tendo muito tempo pra estudar".
2	"Eu acho bem legais, criativas, apesar de às vezes serem meio complicadas e confusas".
3	"Eu achei muito interessante, mas gostei de um modo particular da física do terceiro ano do Ensino Médio, tanto como conteúdo como na didática adotada pela professora".
4	"Estão sendo muito boas, temos bastante oportunidade de montar e ver alguns experimentos, isso não torna a aula cansativa, monótona e chata".
5	"São muito importantes, pois assim aprendemos muitas coisas, coisas que não sabíamos, chamando muita atenção e curiosidade".
6	"As aulas são muito boas, a professora explica muito bem".
7	"No meu modo de ver as aulas de física sempre foram muito boas. A professora procurou ensinar na melhor maneira possível, com materiais excelentes facilitando o aprendizado dos alunos".
8	"Apesar de não me dar bem com cálculos, a forma como as aulas foram dirigidas, fez e faz, com que eu, a cada dia que passe perceba que a física é um dos melhores métodos para se entender, o que se passa ao nosso redor, e assim, fazendo com que eu me interesse pelo assunto física".
9	"Às vezes, as aulas são muito complexas, confundem totalmente as pessoas, mas depois de um tempo você vê que pode compreender e aí buscar novos conhecimentos".
10	"Gosto muito das aulas de física. A matéria física é muito interessante mais o mais importante é da maneira que está sendo explicada".
11	"Bom as aulas estão sendo bastante instrutiva com os slides, com as experiências, com as folhas de atividades e os mapas conceituais. A sua maneira de explicar está sendo boa, muitos dos alunos estão entendendo tudo o que está sendo falado".
12	"As aulas estão boas, bem criativas, dando muito mais interesse as aulas de física".
13	"As aulas antes da aplicação do projeto eram aulas com mais teoria sem muitos experimentos, o que dificultava um pouco entender o conteúdo".
14	"São diferentes, fazendo com que aprendamos com mais facilidade, as aulas são bem explicadas, os assuntos são bem desenvolvidos".
15	"Todo ser humano tem interesses de onde surge as mínimas coisas como os átomos e de tantos outros e para compreender e aprender isto uma aula de física, às vezes, resolve, com isso acho essencial ter aulas de física".
16	"As aulas são importantes, pois sem a física a própria tecnologia não seria tão avançada hoje".
17	"São bastante interessante, com estas aulas recebemos muitos auxílios e algumas respostas a nossas perguntas do cotidiano".
18	"Gosto das aulas, mesmo às vezes não entendendo muito, gosto das experiências, das atividades propostas pela professora".
19	"São boas, mas fico perdida, pois não entendo muito".
20	"Na minha opinião, as aulas teóricas, com experiências ou algo do gênero, são muito mais úteis do que as aulas de cálculos, pois a teoria nos faz aprender muito mais".
21	"Considero as aulas de física boas, porque os conteúdos em sua maioria são interessantes, a professora tem disposição para dar aula".
22	"Em geral, condizente e instrutiva, pessoalmente, um pouco fora de "foco".
23	"As aulas de física foram ótimas, gostei muito com experiências diferentes que saíram da rotina das aulas normais".
24	"Foram muito criativas, diferentes, a professora buscou métodos diversificados para explicar a matéria e divertidas".
25	"São boas, criativas, bem trabalhadas, mas nem sempre consigo entender a matéria".
26	"Eu gosto de aprender coisas novas de física, mas eu também não posso dizer que é fácil porque não é, tem muitas coisas complicadas algumas contas e algumas coisas teóricas que às vezes complicam".

Tabela 6 – Respostas dos alunos sobre o que estão conseguindo aprender nas aulas de Física.

Aluno	Você está conseguindo aprender nas aulas de Física? Avalie a sua aprendizagem na disciplina.
1	"Estou, não é uma matéria complicada demais, as amostras e os experimentos que a professora nos demonstra facilitam da gente aprender".
2	"Algumas coisas sim, outros são. Sei lá, eu e a física não nos damos muito bem, por isso, se eu for evoluir o meu aprendizado, acho que eu diria que aprendi pouquíssimo".
3	"Sim, tenho aprendido bem, mas é uma pena termos tão poucas aulas de física. Acho que é um conteúdo muito extenso para apenas duas aulas por semana".
4	"Estou conseguindo aprender, mas sinto falta das anotações no caderno, a idéia do CD com todo conteúdo foi bem legal, bom mas se fosse possível anotar os conceitos mais importantes..."
5	Sim, pois não sabia que as ondas podiam sofrer interferência, e o que mais me chamou atenção foi as experiências, os métodos usados para mostrar as "manchas" claras e escuras".
6	"Este ano aprendi bastante conteúdos, pois prestei atenção nas aulas e fiz exercícios em aula".
7	"No início com um pouco de dificuldade, mas no decorrer das aulas sempre acabo aprendendo a matéria dada".
8	"Sim, sempre tive muita dificuldade em física, mas no decorrer dessas aulas, por serem de extrema criatividade e com muitas dinâmicas, passei a entender melhor e até me dar bem com o assunto ondas".
9	"Às vezes fico meio confuso, mas estou buscando entender a matéria. A aprendizagem está boa".
10	"Sim, acho que os mapas conceitual me fizeram ter um pouco mais de facilidade para aprender, procurando e compreendendo".
11	"Estou aprendendo muita coisa nova, mas às vezes eu sinto uma certa dificuldade nessa disciplina".
12	"Sim, eu estou aprendendo nas aulas de física. A minha aprendizagem melhorou muito com as aulas na UCS, pois lá com a ajuda de aparelhos dá para entender melhor o conteúdo estudado".
13	"De certa maneira eu consigo aprender algo nas aulas, o pouco que aprendo (que consigo aprender, entender) é algo que levarei comigo. A física é um conteúdo interessante, o que nos prende a entender algo, creio que foi este interesse que me levou a aprender alguma coisa nas aulas".
14	"Sim. Quando presto atenção entendo, mas se não entendo alguma coisa procuro no CD, que fica fácil de entender".
15	"Sim, as aulas estão dinâmicas e bem direcionadas ao assunto o que facilita o aprendizado".
16	"Estou. Minha aprendizagem está boa . estou compreendendo a matéria".
17	"Nas teorias sim, mas não muito para realizar cálculos, descobrir os pontos para estes cálculos. Minha avaliação seria de média 7,5".
18	"Nesta matéria de ondas, no início estava mais claro, agora não estou entendendo nada, não consigo desenvolver os exercícios, mesmo fazendo anotações".
19	"Um pouco, se não entendi o começo da matéria, não consigo entender o resto".
20	"Estou conseguindo aprender a teoria dos conteúdos. Acredito que os cálculos, até mesmo pelo nível de dificuldade, não farão parte de nossa vida como a teoria se faz presente a todos os instantes".
21	"A minha aprendizagem está razoável, creio que devo voltar e me dedicar e não mudar a maneira de dar aula".
22	"Aprendo tudo o que minha atenção me permite, algumas coisas ficam para trás, mais tudo por mérito completo meu, as aulas esta coordenada por uma boa instrutora".
23	"Sim. A cada aula aprendo algo diferente e para gravar é muito importante o CD, ver em casa com isso aprendizagem é mais fácil".
24	"Mais ou menos, pois às vezes é muita matéria, e a gente não anota nada e fica meio confusa, mas estou buscando compreender mais".
25	"Nem sempre, algumas coisas não consigo entender".
26	"Sim, eu acho que a minha aprendizagem não é a melhor, mas da para entender até sobre

	as aulas, mas são um pouco complicadas algumas partes da matéria, mas os próprios exercícios acabam ajudando".
--	--

Tabela 7 – Respostas dos alunos sobre a utilização das animações como facilitador da aprendizagem.

Aluno	Você acha que a utilização das animações nas aulas de Física está facilitando a sua aprendizagem?
1	"Sim, está facilitando bastante".
2	"Acho que sim, porque ajuda a nos mostrar como acontecessem realmente os fenômenos...".
3	"Nossa! Com certeza, tem coisas se eu passo a entender só depois das animações, pois antes disso ficava muito confuso".
4	"Sim".
5	"Com certeza, pois dá as idéias mais amplas, e o entendimento facilita muito e não se torna uma aula cansativa".
6	"Sim".
7	"Sim, é muito mais fácil perceber a ação da física agindo sobre um corpo ou no espaço utilizando estas animações".
8	"Com certeza, este método facilita muito a aprendizagem".
9	"As animações são muito importantes, pois chamam a atenção e são métodos diferentes de aprendizado, com certeza o aproveitamento é muito mais satisfatório".
10	"Sim, torna mais fácil compreender o que acontece com as animações".
11	"Está facilitando muito, com as animações a gente pode ter uma certa noção da matéria antes de você explicar".
12	"Sim, as animações chamam mais a atenção, assim facilitam a nossa aprendizagem".
13	"Sim. Com as animações fica mais claro o que a professora está explicando".
14	"Sim. Na prática a gente percebe como acontece direitinho, às vezes só teórico entende mas não aprende".
15	"Sim, pois aumenta o interesse e prende mais a minha atenção".
16	"Sim, porque além de ilustrar e tornar as aulas diferentes nos mostra como acontecem os fenômenos de difração e interferência".
17	"Sim, as animações nos mostra o resultado final não tendo nós que imaginarmos e muitas vezes errando em nossa imaginação".
18	"Quando tem estas animações não entendo muito, somente algumas, sei o que são, mas se for pra explicar não vou conseguir".
19	"Sim, pois sem as animações ficaria imaginando e com as animações sei certo como são as coisas".
20	"Sim. Observando diretamente como acontecem as coisas fica muito mais fácil aprender".
21	"Sim, porque tudo que puder ser visto melhora e facilita a aprendizagem".
22	"Sim, é difícil imaginar uma coisa que a gente não conhece, e talvez até impossível realmente aprender".
23	"Sim. É uma outra maneira de aprender que facilita entender "brincando"".
24	"Muito, pois é mais fácil de entender e lembrar da matéria, na hora da prova, de estudar".
25	"Sim, pois chama mais atenção e conseguimos gravar melhor a matéria".
26	"Sim, porque você podendo ver como é que acontece é muito bem melhor do que explicar e não ter nenhuma demonstração você só fica imaginando como poderia ser".

Tabela 8 – Respostas dos alunos sobre o seu interesse nas aulas em função das animações.

Aluno	O uso de animações o está deixando mais interessado?
1	“Claro, muito melhor que quadro negro e giz, isso a gente tá cansado de ver, até o filme passado pra nós, era melhor que os que a gente vê em outras matérias”.
2	“Sim”.
3	“Certo que sim! As animações fazem da aula algo dinâmico e interessante, a parte da aula que eu mais gosto é a das animações”.
4	“Sim”.
5	“Sempre gostei de física e sempre procurei cumprir com todos os meus deveres para uma boa aprendizagem”.
6	“Sim”.
7	“Sim, como animações é mais fácil de compreender a matéria deixando os alunos mais interessados em aprender o que está sendo passado pela professora”.
8	“Sim, faz com que nós alunos, nos interesse muito mais, pois chama atenção”.
9	“Sim, mesmo sendo bem complexa a matéria, ela chama mais atenção e desperta curiosidade”.
10	“De um modo geral sim. Saber como e porque acontece “aquilo””.
11	“Está”.
12	“Sim, pois as experiências realizadas em aula nos faz prestar muito mais atenção na aula”.
13	“Sim. Porque com a apresentação das animações estou compreendendo mais o conteúdo”.
14	“Sim. Facilita o aprendizado”.
15	“Sim”.
16	“Sim. De certa maneira a aula fica mais compreensível e não tão monótona”.
17	“Sim, como citado acima”.
18	“Como já falei, gosto quando tem este tipo de aula, é diferente, e às vezes me ajuda a entender alguns conceitos pedidos”.
19	“Sim”.
20	“Sim. Com animações fica mais fácil e mais divertido aprender”.
21	“O uso de animações é bem diferente da aula no quadro, o que muda a rotina e estimula o interesse”.
22	“Mais atento”.
23	“Sim, chama mais atenção coisas diferentes”.
24	“Sim, pois ilustra a matéria deixando mais fácil de compreender e de lembrar”.
25	“Sim”.
26	“Sim, porque tem algo que chama mais sua atenção você presta mais atenção na demonstração vê-se bem como funciona”.

Tabela 9 – Respostas dos alunos sobre as animações que mais lhe chamaram a atenção.

Aluno	Qual (is) a(s) animação (ões) que mais lhe chamou a atenção?
1	“Primeiro de tudo, o Data Show. Depois a animação que mais me chamou atenção foi a do ima no fio de cabelo nunca que eu iria pensar em fazer uma coisa tão simples. (isso é a demonstração)”
2	“Era uma demonstração que tu colocava pra pulsar mais rápido aí a onda aumentava e diminuía”.
3	“As do computador, pela Internet, onde nós poderíamos aumentar ou diminuir a fenda, velocidade, frequência, interferência e outros”.
4	“Difração da luz, polarização”.
5	“Todas do Data Show as experiências com as lâmpadas e o laser. A experiência do fio de cabelo”.
6	“Animação da difração”.
7	“A que mais me chamou a atenção, foi as aulas”.
8	“O movimento de ondas, fendas múltiplas”.
9	“A animação que mais me chamou atenção foi a da cuba de ondas, que tinha umas bolinhas que você variava a intensidade, e notava-se a movimentação das ondas”.
10	“Todas foram interessantes mas a que mais gostei foi a do “pote” e a “tampinha” sobre difração em uma fenda”.
11	“A que mais me chamou atenção foi da difração”.
12	“As animações com as ondas, pois a onda é uma das coisas que estão mais no nosso dia a dia”.
13	“Me chamaram a atenção a animação da superposição e a animação sobre interferência”.
14	“A de interferência que achei bem complicada”.
15	“Aquele em que explicava que as imagens da TV são formadas por inúmeros pontos e explicava a interferência e difração”.
16	“Todas no geral”.
17	“Animações no computador onde podíamos trocar a velocidade, frequência, ponto fixo...”
18	“Fio de cabelo no laser, barreiras na água, e as do computador, aquela da corda, ou a de aumentar a frequência, a velocidade”.
19	“A que mudava a reflexão do pulso para fixa ou livre”.
20	“As animações que são mostradas através do computador (Data Show), em que existem personagens e outros objetos que podem ser mudados conforme a vontade e a necessidade”.
21	“As animações que mostram a interferência construtiva e destrutiva”.
22	“A das propagações das ondas”.
23	“Das fendas e cores”.
24	“A da bolinha”.
25	“As imagens de onda no pó, a caixinha de revelar filme, etc...”
26	“As animações que a onda passava pela fenda, tinha uma de bolinhas que você podia aumentar a velocidade, diminuir o movimento”.

Tabela 10 – Respostas dos alunos sobre as demonstrações como facilitadoras da aprendizagem.

Aluno	Você acha que as demonstrações facilitam a aprendizagem da Física? De que forma?
1	"É uma maneira de demonstrar na prática o que é falado e explicado de diversas formas e com diversas fórmulas".
2	"Sim, ajudando a ficar melhor".
3	"Sim, porque é com a demonstração, na prática que os alunos conseguem assimilar melhor a matéria".
4	"Sim, pois cria curiosidade e eu acabo prestando mais atenção nas explicações, me interessei mais pelo assunto espontaneamente".
5	"Sim, pois você vê o que ocorre e para imaginar é um pouco complicado. Então, as demonstrações facilitam muito".
6	"Sim, pois com demonstração nós vemos como realmente funciona ou acontece".
7	"Sim, que muitos exercícios sem demonstração dificultam a aprendizagem, sendo assim as nossas aulas tem muitas demonstrações facilitando muito o aprendizado".
8	"Sim, de forma que ficou mais fácil de visualizar o que foi explicado em aula".
9	"Sim, pois há mais clareza e a matéria amplia outro leque de aprendizado".
10	"Sim, as demonstrações facilitam bastante compreender o assunto".
11	"De uma certa forma facilita, mas tenho dificuldade na matéria".
12	"Sim, de forma que nós alunos prestamos mais atenção e aprendemos melhor com as demonstrações utilizadas".
13	"Sim, pelo fato de ver a teoria na prática, o modo de como funciona, conseguimos entender melhor o que é explicado".
14	"Sim, dá para entender melhor".
15	"Sim, pois facilita o envolvimento com a matéria e aumenta capacidade de compreensão".
16	"Sim, porque o aluno vê e compreende como funcionam as coisas".
17	"Sim, pois é mais fácil guardar as demonstrações do que texto falado".
18	"Muitas vezes sim, quando é só falado pode até se guardar o assunto, mas com demonstrações é mais fácil de aprender".
19	"Sim, pois sem as demonstrações eu não entenderia".
20	"Acredito que sim. Visualizar algo é sempre melhor do que ficar imaginando como seria".
21	"Assim, como o uso de animações, o que pode ser visto facilita o ensino".
22	"Visualizando fica mais fácil de transferir para outros casos o que aprendemos".
23	"Sim, está explorando novas áreas e com isso facilita para todos uma aprendizagem mais eficaz".
24	"Sim, porque ilustra a matéria".
25	"Sim, ajuda a fixar melhor a matéria".
26	"Sim, porque se você ver o que a professora esta lhe dizendo você vai ver como é e não vai ficar só imaginando".

Tabela 11 – Respostas dos alunos sobre seu interesse nas aulas em função das demonstrações.

Aluno	A realização das demonstrações lhe deixou mais motivado para aprender?
1	“Sim, faltei em uma aula porque estava cansado demais, mas do contrário não faltou em nenhuma aula para não perder as demonstrações”.
2	“Sim”.
3	“Sim e muito. Porque as aulas mais dinâmicas são as melhores, onde a gente consegue ter mais atenção e aprender melhor”.
4	“Sim”.
5	“Sim, pois são situações diferentes causando muita curiosidade o que motiva o estudo”.
6	“Sim”.
7	“Eu, ao ver as demonstrações, fico sim muito motivado a aprender, porque muitas vezes que tem aulas sem demonstrações eu acabo tendo mais dificuldade ao entender não me motivando”.
8	“Sim, pois foi uma forma de chamar a atenção e de envolver todos os alunos na aula, fazendo com que eu me motivasse a aprender muito mais”.
9	“Sim, pois o aluno interage mais com a turma, e assim compreende mais facilmente matéria”.
10	“Gostei muito das demonstrações sempre bom ter mais maneiras diferentes de aprender algo”.
11	“Não só as demonstrações, tudo em si está muito bom”.
12	“Sim, pois com as demonstrações eu presto atenção nas aulas e conseqüentemente aprendo mais”.
13	“Sim, porque meu entendimento melhorou e o meu interesse em física aumentou muito”.
14	“Sim. Em casa “brinquei” com o pote de filme e espectroscópio”.
15	“Sim”.
16	“Sim. A aula ficou mais atraente”.
17	“Sim, pois presto mais a atenção”.
18	“Com muita curiosidade do assunto”.
19	“Sim, pois deixa as aulas mais interessantes”.
20	“Sim, pois observar é mais fácil do que imaginar”.
21	“As primeiras que eram situações simples, mas interessante como em cordas de extremidades livres e fixas”.
22	“Mais esclarecido”.
23	“Sim, estou vendo que as demonstrações está no meu dia a dia e com elas aprendemos a distinguir”.
24	“Sim, pois fica mais simples de entender”.
25	“Sim, tudo o que é novo, criativo, nos prende mais a atenção”.
26	“É de uma grande ajuda você vendo e sabendo como fazer às vezes você fica bastante interessado e tenta fazer a mesma demonstração em casa que a professora fez”.

Tabela 12 – Respostas dos alunos sobre as demonstrações que mais lhe chamaram a atenção.

Aluno	Qual a demonstração que mais lhe chamou a atenção?
1	"(vou escrever a animação) o vídeo, o primeiro passado da Quika".
2	"A do fio de cabelo".
3	"As demonstrações todas foram legais, mas gostei de todas que são com laser. A do cabelo é show!".
4	"Difração da luz do raio laser com o CD".
5	"Fio de cabelo, lâmpadas, laser, todas as demonstrações".
6	"Eletroscópio".
7	"A demonstração com o cálculo da distância cores do CD".
8	"Feixes de luz na parede e cores no CD".
9	"A demonstração da difração no CD e DVD".
10	"A maioria das animações foram boas mais gostei das primeiras animações".
11	"Foi a da vasilha com água com os obstáculos".
12	"A demonstração com os laser".
13	"A que mais me chamou a atenção foi a demonstração sobre interferência".
14	"A da espessura do fio de cabelo, vi a diferença de um cabelo para outro".
15	"A de fenda múltiplas, das cores, do CD, do espectroscópio".
16	"Todas".
17	"Ondas na cuba com barreiras, mostradas no retroprojeter".
18	"Fio de cabelo no laser, barreiras na água, tubinho de filme para ver a luz".
19	"A experiência de medir a espessura do fio de cabelo".
20	"Todas foram úteis e aproveitáveis".
21	"A demonstração com o cálculo da distância cores do CD".
22	"Aquela coisa das cordas, demonstrando as diferentes formas de propagação".
23	"Fendas, fio de cabelo".
24	"A do laser com o cabelo".
25	"Todos me chamaram a atenção, muito interessante e sem elas muitas coisas não fariam sentido".
26	"Várias me chamou a atenção, mas aquela que a gente media o comprimento do fio de cabelo foi muito legal".

Tabela 13 – Respostas dos alunos sobre as animações substituindo as demonstrações.

Aluno	Você acha que as animações poderiam substituir as demonstrações?
1	"Não, porque as demonstrações são mais específicas do que as animações".
2	"Não, eu acho melhor as demonstrações".
3	"Não com certeza não, cada uma tem uma particularidade, sendo necessário ambas para completar a idéia principal do texto".
4	"Com certeza".
5	"Na minha opinião as duas precisam estar juntas mais eu gosto mais das demonstrações".
6	"Não, acho que deve haver animações e demonstrações".
7	"Não, devem continuar assim".
8	"Considero os dois importantes, podem continuar assim".
9	"As duas devem estar ligadas, pois uma é dependente da outra".
10	"Prefiro as demonstrações mais as animações fica mais fácil compreender e ver o que acontece".
11	"Não, porque quando não temos uma coisa real não digital podemos compreender um pouco mais".
12	"Não, tem que ter os dois nas aulas, as animações para nós se divertir um pouco e as demonstrações para nós entender melhor a matéria".
13	"Não, acho que estas dinâmicas se apresentadas bem devem ser trabalhadas em conjunto".
14	"Não. Acho que as demonstrações são mais fáceis de entender, as duas são boas".
15	"Acho que não porque uma complementa a outra".
16	"As duas têm suas vantagens".
17	"Não, pois animações não mostram toda a realidade".
18	"Às vezes é melhor uma demonstração, como outras vezes é melhor ver uma animação, não tem como um substituir o outro!".
19	"Não".
20	"Sim. Apesar de as demonstrações chamarem a atenção, as animações nos enriquece ainda mais. Fica mais fácil de memorizar uma informação se algo chama atenção na hora em que se está recebendo uma informação. Um gesto, uma fala, ou até mesmo um personagem diferente enriquece o pensamento".
21	"Não, devem continuar as duas".
22	"Não".
23	"Não, na minha opinião as demonstrações são mais importante do que as animações".
24	"Não, eu acho que as duas se completam, e ajudam os alunos entender melhor.
25	"Os dois são essenciais".
26	"Acho que sim, mas é melhor você ver ao vivo poder estar fazendo junto com a professora do que só em animações".

Tabela 14 – Respostas dos alunos sobre o mapa conceitual como facilitador da aprendizagem.

Aluno	Você considera que o mapa conceitual facilitou o entendimento da matéria? De que forma?
1	"Não sei, porque ainda não fiz".
2	"Não, me confundi ainda mais, porque sendo sincera, eu não consegui aprender a fazer o mapa".
3	"Sim, apesar de que dá auto trabalho para fazer o mapa... mas assim revisando e ligando as matérias conseguimos assimilar melhor".
4	"Talvez tenha ajudado porque nós tivemos que ler sobre o assunto, fazer com nossas palavras, mas não acho que tenha facilitado o entendimento da matéria".
5	"Sim, pois para montar os mapas é necessário rever as matérias, assim facilitando a aprendizagem, e aprendendo mais e mais".
6	"Não".
7	"Sim, de modo que o aluno relaciona a matéria conforme ele acha o correto e como foi dado a matéria".
8	"Sim, ficou mais fácil de organizar o que aprendemos com mapa conceitual"
9	"Ajuda na revisão da matéria, e esclarece as dúvidas".
10	"Sim, os mapas conceitual ajudou bastante. Depois de cada aula de física nós construíamos um mapa sobre o que tínhamos aprendido".
11	"De um certo modo, mais os mapas são meio complicados".
12	"Sim, na forma que você liga um conceito a outro, e vendo que uma matéria é interligada a outra".
13	"Sim. Com a construção dos mapas os conceitos ficam mais claros".
14	"Sim. Ligando as coisas tem mais sentido".
15	"Sim, apesar de no início ser um pouco complicado de fazê-lo ele ajuda muito ele serve de resumo geral da matéria, lendo só uma palavra no mapa você consegue lembrar do assunto e interligar a outro, com o mapa é muito mais prático para estudar".
16	"Sim. Porque é uma maneira de resumir a matéria, mas em poucas palavras".
17	"Mais ou menos, pois deveria ser corrigido ou criado em "grupos" para trocarmos informações. Mas ajuda para fazermos ligações com outros conteúdos e com o dia a dia".
18	"Não facilitou pra mim, pois não sei compreender nem fazer um mapa conceitual".
19	"Não, pois eu não consigo fazer e entender o mapa conceitual".
20	"Sim. Com o feitiço contínuo de mapas, muitas vezes repetindo a mesma informação, foi mais fácil de assimilar as informações".
21	"Sim, de modo que o aluno relaciona a matéria conforme ele acha-o correto".
22	"Talvez sim, mais ainda não vejo muita objetividade, talvez pela minha falta de prática, sem deixar de considerar as circunstâncias, final de ano, último ano, nosso interesse já está disperso, querendo o futuro, e se desligando do presente".
23	"Sim. O mapa é um resumo do que aprendemos".
24	"Mais ou menos, pois é um pouco difícil de fazê-lo, mas facilita, pois tem ligar assunto com assunto".
25	"Sim, pois para fazer o mapa tem que pesquisar sobre a matéria, apesar de ser chato fazer o mapa ajudou a entender".
26	"Sim, porque tudo que você ia aprendendo você ia colocando ali fazendo isso você já está aprendendo, e você coloca as suas idéias ali também".

Tabela 15 – Respostas dos alunos sobre as consultas que tiveram que fazer para construir o mapa conceitual.

Aluno	Você consultou o material disponível no CD para fazer o mapa conceitual? Consultou outros materiais? Cite quais:
1	"Não consegui abrir aquele CD, e outros materiais só sites da Internet".
2	"Consultei o livro e o CD".
3	"Sim consultei todas às vezes o CD e encontrei grande parte das respostas que eu precisava, uma que outra não tinha. Consultei o acervo da biblioteca da UCS usando mais uns cinco livros no mínimo".
4	"O CD e o livro nosso (Bonjorno e Clinton)".
5	"Sim. Sim livros de física "O livro de capa azul e o livro de física"".
6	"Sim e o livro usado pela escola".
7	"Sim, utilizei o nosso livro de física é mais um material que eu tenho lá em casa".
8	"Não, pois não consegui abrir o CD, procurei consultar outro livro de física".
9	"No momento estou sem computador, mas cheguei a abrir o CD para dar olhada na matéria".
10	"Sim utilizei o material do CD e pesquisei um pouco no nosso livro da escola e na Internet".
11	"Sim, alguma coisa do CD e do nosso livro".
12	"Eu apenas consultei o CD e o livro para fazer o mapa conceitual".
13	"Sim. Também consultei nosso livro de aula e o livro adotado este ano aos outros anos do Ensino Médio (Gaspar - Física Brasil)".
14	"Sim consultei somente o CD".
15	"Sim e outros materiais também como: livro Física – Beatriz Alvarenga, Física Conceitual e pesquisei na Internet no site sala de física".
16	"Não, não".
17	"Somente o CD e alguns textos procurados na Internet".
18	"Sim, e alguns livros de física sobre ondas, consultei o CD".
19	"Não".
20	"Consultei muito o CD e alguns livros".
21	"Sim, também utilizei o nosso livro de física".
22	"Não, foi fazendo progressivamente, fazendo anotações durante as aulas".
23	"Sim, livro de aula".
24	"Só livros, o CD não".
25	"Sim, somente o CD e os livros".
26	"Não, outros materiais só o nosso livro de física, mas só no início porque não tem muita coisa".

Tabela 16 – Respostas dos alunos sobre quais conteúdos não eram mais necessários serem consultados para construir o mapa.

Aluno	Nos últimos mapas conceituais que você fez, sentiu necessidade de consultar todo o material ou já havia assuntos que você podia escrever sem consultar o material? Quais?
1	
2	“Senti necessidade”.
3	“Infelizmente eu ainda precisava consultar todo material, de uma semana ou mais até fazia com que eu esquecesse a matéria, precisando fazer uma consulta de novo”.
4	“Há alguns assuntos que escrevi sem o material, tipos de ondas periódicas são as coisas mais bem no começo”.
5	“Senti necessidade de consultar o material mas alguns tópicos foi “tranquilo” não precisei de consulta”.
6	“Não fiz os últimos”.
7	“Uns assuntos eu não consulto o material como os elementos básicos de uma onda”.
8	“Senti necessidade de consultar o material”.
9	“Não, só da última matéria que eu não entendi muito bem”.
10	“Não consultei todo material de novo coisas eu já sabia como a classificação da onda”.
11	“Sim, o nosso CD, eu não sinto uma facilidade de fazer o mapa sem consultar nada”.
12	“Nos últimos dois mapas conceituais eu tive que consultar além do CD e do livro, a lista de exercícios”.
13	“Tiveram conceitos que já conseguia colocar sem consultar, interferência, superposição, reflexão e refração”.
14	“Sim, consulte, mais para ter certeza e o significado de cada coisa. As características básicas das ondas eu não precisava consultar (crista, vale, amplitude, etc...)”.
15	“Não precisei consultar todos aqueles livros. Os assuntos que já podia escrever eram: classificação das ondas suas propriedades, e a base sobre reflexão, refração e difração”.
16	“Não”.
17	“Sim, assuntos que iniciam a matéria”.
18	“Sim precisei consultar o material, porque não entendi muito bem a última matéria”.
19	“Não fiz os últimos mapas”.
20	“Os primeiros assuntos de que tratamos já não precisei consultar. Os últimos, procurei auxílio, principalmente do CD”.
21	“Sim, alguns assuntos não consulto o material, como os elementos básicos de uma onda”.
22	“Por funções técnicas, fiquei meio afastado das últimas aulas”.
23	“Eu tive que ficar uma olhada no CD para fazer algumas coisas, mas consegui fazer a metade. O início”.
24	“Não tinha que consultar toda a matéria de novo”.
25	“Sim, principalmente as características das ondas”.
26	“Os primeiros sim, mas agora já estava dificultando”.

Tabela 17 – Comentários críticos dos alunos sobre o CD disponibilizado.

Aluno	Faça um comentário crítico sobre o material de apoio (CD) disponibilizado.
1	
2	“Eu achei bom”.
3	“Bom eu gostei muito, achei muito criativo da parte da professora, ela se empenhou muito para fazer o seu melhor e conseguiu!! Mas só achei que algumas fotos poderiam estar melhor do ponto de vista do fundo, contraste e centralização, mas isso nem é tão importante...”
4	“O material é bom! Poderia ser mais objetivo (simplificado)”.
5	“Muito bem elaborado e com grandes explicações e animações que facilitaram muito o estudo e o entendimento”.
6	“O CD é muito bom, pois abrange toda matéria dada em sala de aula”.
7	“O conteúdo posto no CD é bom, pois mostra a matéria de uma forma resumida e com fácil compreensão”.
8	“não consegui abrir o CD”.
9	“Às vezes ficou meio confuso porque não abriu, mas as outras vezes eu consegui”.
10	“Explica muito bem. Várias experiências. Acho que um pouco mais de teoria seria melhor”.
11	“Está bom apesar de eu não conseguir ler tudo”.
12	“No CD tem muito conteúdo, na minha opinião eu acho que o conteúdo teria que ser menor”.
13	“Na minha opinião ele deveria ser mais objetivo, para facilitar o entendimento”.
14	“Muito bom. O que a gente aprendia na aula muito rápido em casa dava para lê, e entender melhor”.
15	“O CD foi ótimo sem ele seria muito difícil fazer certos exercícios, gostei muito e além disso com o CD é possível “brincar” com os experimentos disponíveis nele”.
16	
17	“O CD nos ajuda muito, já que nosso livro não tem estes assuntos esclarecidos”.
18	“É muito bom e está me ajudando muito”.
19	“Eu dei uma olhada e achei bem completo, gostei”.
20	“O material foi uma ótima idéia. Auxiliou muito na resolução de exercícios e construção de mapas conceituais. Acredito que ele poderia ter algumas animações extras para chamar um pouco mais atenção. Já que o material é diretamente voltado para alunos, acho que mais cores e imagens ajudariam a prender a atenção”.
21	“O conteúdo é bom, pois mostra a matéria de maneira resumida e fácil compreensão”.
22	
23	“Na minha opinião está ótimo não tenho críticas”.
24	“O CD eu só vi o que a professora passou nas aulas”.
25	“Bem legal. Mas um pouco confuso, mas facilitou a aprendizagem”.
26	“Eu não olhei, eu não fui na minha prima para dar uma olhada”.

Tabela 18 – Comentários críticos dos alunos sobre a realização de experimentos, animações, mapas conceituais ou qualquer outra natureza.

Aluno	Inclua abaixo os seus comentários sobre o material oferecido na forma de CD e sobre a realização dos experimentos. Descreva as dificuldades encontradas, seja na realização do experimento, na compreensão do material didático ou de qualquer outra natureza. Como este material esta em desenvolvimento qualquer comentário, critica, identificação de falhas ou erros será bem vinda.
1	
2	“Sei lá, eu tive algumas dificuldades normais, mais a respeito do material eu achei bom”.
3	“Eu acho que o CD está muito bom, e os experimentos foram realizados com sucesso, apesar de não dispormos de todo material necessário na escola, o que é um transtorno e uma dificuldade imensa. Eu particularmente não percebi erro nenhum no CD”.
4	“O material oferecido tá bom as dificuldades que encontro é na realização dos mapas conceituais pois prefiro as coisas escritas no caderno mas o resto tá bom, a realização dos experimentos torna a aula mais boa que já é e as demonstrações ajudam bastante também”.
5	“Na realização dos experimentos foi ótimo, na compreensão do material também. Em alguns momentos eu me “perdi” nas matérias mas uma boa revisada no CD”.
6	“O material oferecido foi muito bom, fazer o mapa conceitual”.
7	“A minha principal dificuldade é não ter um material para acompanhar o que está sendo passado e explicado”.
8	“O CD, não consegui abrir. Ainda sinto certa dificuldade para organizar um mapa conceitual, mas do restante acho que está tudo ótimo, bem demonstrado, bom de visualizar”.
9	“Na minha opinião está tudo bem, apenas às vezes não ficou muito claro, pois a matéria é complexa, mas está bom”.
10	“Fácil de compreender e criativo. Uma das minhas dificuldades foi um pouco na compreensão do CD. Explica o experimento mas não tem uma definição sobre algo. Mais no geral está muito boa as aulas de física”.
11	
12	“Eu acho que deveria ser mais reduzido o conteúdo do CD”.
13	“O material do CD deveria ser mais objetivo e a realização dos experimentos está ajudando muito na compreensão do conteúdo, por isso estou achando ótimo a realização dos experimentos”.
14	“Eu gostei, o CD facilitou muito, dá exemplos, explica todos os assuntos, mostra as experiências”.
15	“Apesar do curto tempo para fazer os experimentos todos foram legais. Claro com exceção daqueles que não funcionavam tudo foi apresentado da melhor forma possível. O CD como falei na questão anterior foi de ajuda inestimável”.
16	
17	“O CD nos auxilia em muito pois sem ele teríamos que ir fazer pesquisas para conter estes textos, os experimentos também nos ajuda, tenho menos dificuldade com estes auxílios”.
18	“Quando está sendo explicada a matéria, tem muita conversa, e às vezes tira a atenção. O mapa conceitual poderia ser feito em grupo para juntar idéias. Mas gosto das aulas e motiva muito por ser diferente, com coisas novas”.
19	“Não tenho críticas”.
20	“O CD está completo, mas continuo acreditando em minha opinião da resposta número quinze. Minhas dificuldades foram na parte de cálculos, portanto, essa parte poderia ser mais reforçada no CD”.
21	“A principal dificuldade que eu encontro é não ter um material para acompanhar o que está sendo explicado”.
22	
23	“O CD está fantástico eu gostei muito, está bem elaborado com muitas idéias diferente que eu nunca tinha visto e pensado que poderia existir. A minha única dificuldade é nos mapas conceitual não consigo colocar todas as minhas idéias”.
24	
25	“O material todo utilizado é muito criativo, legal de se trabalhar, mas não entendi algumas coisas, acho que eu deveria ter lido mais sobre a matéria”.

26	"Como eu não olhei não posso escrever nada".
----	--

Registro das entrevistas - Turma 302

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Respostas dos alunos sobre material de apoio (extra – aula) utilizado durante a aplicação do projeto.

Tabela 2 – Respostas dos alunos sobre conhecimento do conteúdo antes da instrução.

Tabela 3 – Respostas dos alunos sobre a importância de aprender Física.

Tabela 4 – Respostas dos alunos sobre a aplicação da Física no dia a dia.

Tabela 5 – Respostas dos alunos sobre as aulas de Física.

Tabela 6 – Respostas dos alunos sobre o que estão conseguindo aprender nas aulas de Física.

Tabela 7 – Respostas dos alunos sobre a utilização das animações como facilitador da aprendizagem.

Tabela 8 – Respostas dos alunos sobre o seu interesse nas aulas em função das animações.

Tabela 9 – Respostas dos alunos sobre as animações que mais lhe chamaram a atenção.

Tabela 10 – Respostas dos alunos sobre as demonstrações como facilitadoras da aprendizagem.

Tabela 11 – Respostas dos alunos sobre seu interesse nas aulas em função das demonstrações.

Tabela 12 – Respostas dos alunos sobre as demonstrações que mais lhe chamaram a atenção.

Tabela 13 – Respostas dos alunos sobre as animações substituindo as demonstrações.

Tabela 14 – Respostas dos alunos sobre o mapa conceitual como facilitador da aprendizagem.

Tabela 15 – Respostas dos alunos sobre as consultas que tiveram que fazer para construir o mapa conceitual.

Tabela 16 – Respostas dos alunos sobre quais conteúdos não eram mais necessários serem consultados para construir o mapa.

Tabela 17 – Comentários críticos dos alunos sobre o CD disponibilizado.

Tabela 18 – Comentários críticos dos alunos sobre a realização de experimentos, animações, mapas conceituais ou qualquer outra natureza.

Tabela 1 – Respostas dos alunos sobre material de apoio (extra – aula) utilizado durante a aplicação do projeto.

Aluno	No período em que se realizavam as aulas, você estudou (leu ou assistiu) algum texto de apoio, artigo, livro, vídeo ou filme, que trate do assunto Difração e Interferência?		Qual?
	Sim	Não	
1	X		“CD que a professora deu a cada um de nós”
2	X		“Li alguns livros (um que tenho em casa)”
3	X		“Na Internet”
4	X		“O CD com todo o conteúdo”
5	X		“A apresentação de slides e as experiências”
6		X	
7	X		“CD adquirido com a professora e o livro”
8	X		“Apresentação de slides, flashes, etc...”
9	X		“Um livro que falava um pouco sobre inviabilidade”
10	X		“Pesquisas em sites”
11	X		“Livros diversificados”
12	X		“CD com o conteúdo”
13	X		“O CD fornecido pela professora e livros”
14	X		“Em alguns sites”
15	X		“CD com todo conteúdo”
16	X		“CD e Internet”
17	X		“Livro e CD”
18	X		“Alguns do CD que a professora nos deu”
19		X	
20	X		“Livros “
21	X		“Várias experiências e conclusões que contém no CD”
22		X	
23	X		“CD e outros livros de Física, vídeo”
24	X		“Li alguma coisa no livro mesmo”

Tabela 2 – Respostas dos alunos sobre conhecimento do conteúdo antes da instrução.

Aluno	Você já havia aprendido em algum lugar o conteúdo ondas, interferência ou difração antes de iniciar as nossas aulas:		
	Sim	Não	Onde?
1		X	
2		X	
3		X	
4		X	
5	X		“O ano passado numa apresentação da escola dos alunos da nossa turma”
6	X		“No ano passado. É que nós estávamos com a matéria adiantada”
7		X	
8		X	
9	X		“No colégio”
10		X	
11		X	
12		X	
13	X		“Cursinho pré-vestibular”
14		X	
15			
16		X	
17		X	
18		X	
19		X	
20		X	
21		X	
22	X		“Na Internet”
23		X	
24		X	

Tabela 3 – Respostas dos alunos sobre a importância de aprender Física.

Aluno	Você acha importante aprender Física, por quê?
1	"Sim muito importante, toda a física faz parte do nosso cotidiano".
2	"Acho porque é uma matéria que está no nosso dia-a-dia".
3	"Sim, pois é uma matéria exata, que nos faz pensar. É interessante e muito divertida no 3º ano, por ser bem prática e diferente".
4	"Sim, porque em nossos dias convivemos com a física em muitas coisas, em casa, na rua, em festas. Assim aprendendo física conseguimos aprender e saber sobre tudo isso".
5	"Sim, porque é uma matéria que explica vários fenômenos naturais como onda, ventos, eletricidade e muito mais e ainda explicar coisas inacreditáveis".
6	"Sim, pois é uma coisa que se precisarmos saber, já estamos prevenidos".
7	"Sim, porque se pararmos para pensar, no nosso dia a dia acontecem muitos fenômenos que a física explica, tornando a física mais atraente e acaba causando curiosidade para quem estuda a Física".
8	"Sim, profissões como engenheiro mecânico, deve saber resistências de material, força de torque, etc. Um engenheiro elétrico, deve saber conteúdos teóricos de eletricidade, de captação de ondas eletromagnéticas, etc. E outras profissões dependem da Física também".
9	"Sim, pois ela está presente no dia a dia, e aprendê-la nos faz entender todos os fenômenos macabros e diabólicos que incrivelmente não são bruxaria".
10	"Física é muito importante, amplia nossos conhecimentos, onde trocamos informações com diversas pessoas, facilitando nosso aprendizado".
11	"Sim, muito. Ela auxilia muito diversas áreas de estudos científicos (biologia, medicina, arquitetura, etc.) e sem ela é, digo, ao aprendermos algo novo, começamos ver o mundo, em funcionamento, seus "mistérios", ... com outros olhos e crio é muito bom".
12	"Acho que a física é importante, pois estudamos e aprendemos tudo sobre o dia a dia. Em casa, na rua e em nosso próprio corpo".
13	"Sim, pois podemos conhecer e entender tantos acontecimentos do nosso dia a dia".
14	"Sim, porque é interessante".
15	"Sim, pois a física está presente no nosso dia a dia, tudo o que fizemos de certa forma é física".
16	"Sim, pois aprendemos coisas novas no qual utilizamos em nossas vidas".
17	"Sim, pois usamos a física para muitas coisas em nossas vida".
18	"Acho importante porque convivemos com fenômenos físicos todos os dias e precisamos estudar para entender como e porque acontecem".
19	"Acho muito importante para podermos entender alguns fatores do nosso dia a dia, entender como funciona uma determinada coisa".
20	"Sim, porque a física está no nosso dia a dia, convivemos com ela. Muitas vezes fazemos perguntas do porque as coisas acontecem, mas não obtemos respostas concretas, apenas dizem que aquilo tem que acontecer porque Deus quer, ou outra resposta do tipo. E com a Física aprendemos".
21	"Sim, pois há várias deduções e leis, na qual utilizamos muito em nossa vida. Aprender como funciona, desde um certo aparelho até uma onda, um vento, talvez poderemos consertá-lo ou até mesmo montá-lo".
22	"Sim, porque vai ser utilizada mais adiante, na faculdade, e, até no dia a dia para entender fenômenos que vivenciamos e nem imaginamos o quanto está relacionado à Física".
23	"Sim, porque a física está presente no nosso dia a dia".
24	"Sim, pra entender de onde vem tanta coisa "estranha", tipo como existe a luz, como ela é produzida e várias outras coisas".

Tabela 4 – Respostas dos alunos sobre a aplicação da Física no dia a dia.

Aluno	No seu dia a dia onde você vê a Física aplicada?
1	"Em lâmpadas, fendas, até mesmo com o cabelo estamos estudando física, etc.
2	"No olhar para televisão, em fendas, atrás da porta em várias situações".
3	"Em vários lugares: praia, bolhas de sabão, dia a dia, automóveis, rádios. Em tudo há física".
4	"Na televisão, em rádios, em muitas coisas".
5	"Sim quando está se formando um temporal o efeito do som o trovão isso acontece por causa que a velocidade da luz é maior que a do som, isso é física e tem muito mais que acontece no dia a dia".
6	"Nos acidentes de carro (eu vi um), quando ando de carro ou ônibus, quando olho para o sol".
7	"Em casa, nos eletrodomésticos, no asfalto, nos carros, na TV, no estádio de futebol, na praia, nos cinemas, no rádio, em tudo o que acontece ao nosso redor há um pouco de física".
8	"Sim, como faço SENAI, temos noções de resistência física de materiais, dilatação, contração, resistências ao calor, e muitos mais conteúdos relacionados à física".
9	"Em tudo que se move, emite luz e que existe, mas não se enxerga".
10	"A física está muito presente no nosso dia a dia, vemos ela sendo aplicada de diversas formas, a partir do momento em que acordamos e acendemos a luz, a física já se manifesta. Vivemos física".
11	"Desde o momento que levanto da cama (movimentando-me) e acendo a luz do quarto até a hora que vou deitar. Quando falo, ouço (há questão das ondas), até os óculos que eu uso (lentes), claro, a força da gravidade, e muitas, muitas outras coisas...".
12	"Em todo lugar tem física no andar, no ligar uma televisão e etc."
13	"Em casa nos aparelhos elétricos".
14	"Em várias coisas".
15	"Nas coisas mais simples como quando nos comunicamos, o que vemos o simples fato de estarmos no chão tudo isso é física".
16	"Em aviões, carros, industrialização, máquinas entre outros".
17	"Em quase tudo (rádio, televisão, ondas sonoras, etc.)"
18	"Nas instalações elétricas, motores, fenômenos da natureza e muito mais".
19	"Em tudo, desde o por que conseguimos caminhar sobre a terra sem "cair", até mecanismos de uma máquina por exemplo".
20	"Em tudo, desde tomar café até a hora de dormir, a física está em toda a parte, quando assistimos TV, ouvimos rádio, até quando a torcida assiste o jogo de futebol fazendo "ola".
21	"Em quase tudo, pois a física praticamente é tudo que acontece ao nosso redor".
22	"Em todos os lugares, na hora de ouvir rádio, usar o microondas, andar de automóveis, ate nos pombos e baratas".
23	"Em casa".
24	"Quando ando de ônibus, a famosa lei da inércia".

Tabela 5 – Respostas dos alunos sobre as aulas de Física.

Aluno	Sobre as aulas de Física, de um modo geral, qual a sua opinião?
1	"Muito interessante, por mais que eu não me identifique é bom, sempre aprender coisa novas e diferentes, que vão servir para toda nossa vida".
2	"Não tive Física no primeiro ano, no segundo ano a prof. não dava muito conteúdo. Posso dizer, hoje, que tive aula de física só no terceiro ano e quando venho né! O pior é que o problema não é não gostar e sim não saber".
3	"Bom, é uma matéria que eu tenho muitas dificuldades, porém com a ajuda da prof. Scheila desde o primeiro ano, consegui compreender o que era sugerido. As aulas são divertidas e nada monótonas".
4	"As aulas de física são ótimas, pois o conteúdo é muito bem explicado, bem desenvolvido, bem variado, consegui aprender muitas coisas diferentes que nunca tinha visto antes".
5	"Foram legais, mas o ano que mais gostei foi o terceiro, a matéria mais interessante e legal de se aprender, depois vem o segundo ano menos interessante mas havia alguns pontos legais e por último a do primeiro ano nada legal, é muito chata".
6	"Muito boa, interessante e muito útil".
7	"São muito importantes, no começo parece ser uma matéria chata, mas quanto mais estudamos, mais gostamos de física. As aulas de física são diferentes devido as aulas práticas e experimentos que ajudam na aprendizagem".
8	"São razoavelmente boas. Só é esquecido de expor que boa parte do que será estudado terá haver com várias profissões, o fato de relatar isso, ajuda a incentivar os alunos a aprender e entender a matéria para poder no futuro exercer bem a sua profissão e ser um grande profissional".
9	"Sempre tive a mesma professora, então tive aulas de um modo parecido. Sempre foram as melhores (pior que é verdade)".
10	"Gostei bastante desse novo modo de ensino, com matérias diferentes, até mesmo o local, saindo um pouco da rotina, tudo isso proporcionou aulas criativas e muito interessantes".
11	"Acho super interessante fazer experimentos, demonstrações, mas às vezes é importante também a teoria por escrito. A junção da prática com a teoria fazem, digo, são a alma do negócio. (só uma ou só a outra deixam a desejar!)".
12	"Aulas boas e dinâmicas e principalmente interessante, o que toma a atenção do aluno".
13	"No primeiro ano considero que não tive física, pois não aprendi nada que possa utilizar agora, No segundo e terceiro ano aprendi realmente o que é ter uma aula de física e onde ela é aplicada".
14	"Às vezes é muito rápido e eu que já não sou boa em física, eu presto atenção, mas não entendo. Quando o assunto é chato pior ainda de entender".
15	"Tudo o que sei hoje sobre física, aprendi nas aulas, que foram muito bem explicadas, por uma profissional muito capacitada e com muita sabedoria e conhecimento".
16	"Que depois desse projeto as idéias ficaram muito mais clara para nós".
17	"Até esse ano não gostava, pois "só se via fórmulas". Mas esse ano foi diferente e a física ficou bem mais legal de se aprender".
18	"Todas as aulas foram que participei foram bem ministradas e tendo um objetivo a ser alcançado. Sempre com dedicação total da professora".
19	"Uma das únicas matérias com números que eu consigo entender, gosto muito da parte teórica e das coisas que vemos e usamos no nosso dia a dia assim estando relembrando sempre".
20	"Foram boas, pois desde o fundamental tive professoras ótimas que me fizeram gostar de física, devido ao seu modo de ensino, que para mim foi de fácil compreensão".
21	"São ótimas e divertidas, compreendemos de um modo fácil, utilizando experiências, fazendo mapas conceituais e utilizando nossa memória para muitas coisas".
22	"As aulas sempre são interessantes, passadas de um modo diferente, com experiências e mostradas como aplicar no dia a dia o que prende a atenção do aluno".
23	"Melhoraram muito, estão muito interessante e criativas".
24	"Eu não gosto dos cálculos, muita regra. E por isso, que de repente as aulas de Física não me agradam muito".

Tabela 6 – Respostas dos alunos sobre o que estão conseguindo aprender nas aulas de Física.

Aluno	Você está conseguindo aprender nas aulas de Física? Avalie a sua aprendizagem na disciplina.
1	"Da para se dizer que sim. Fizemos mapas conceituais e aulas criativas e diferentes, assim ficam mais fáceis".
2	"Mais ou menos. Aprendi muito mais do que antes, as aulas são bem legais e criativas, mais é muito tempo uma semana para outra passa o tempo e eu esqueço das aulas anteriores e já começa mais coisas novas e isso confundi um pouco".
3	"Sim, não é muito fácil a matéria em geral, porém ao passar das aulas , vai dando para compreender o que é dito".
4	"Sim, pois o conteúdo é bem explicado, bem demonstrado, e isso facilita a aprendizagem".
5	"Consegui aprender mais desse ano, sobre magnetismo bastante coisa, alguma coisa sobre eletricidade e estou aprendendo e gostando bastante sobre ondas, um assunto bastante amplo e também com bastante descobertas e vários experimentos para facilitar mais o entendimento".
6	"Tá, eu sou meio burrinho, mas estou conseguindo aprender mesmo com dificuldades. Claro que se eu me concentrasse bem seria mais fácil, mais fazer o que?".
7	"Sim, é a matéria que eu mais me interesse em aprender devido a curiosidade de acompanhar a física em cada um de seus passos, sem falar na competência da professora".
8	"Sim, a forma de passar as informações é bem clara e simples de ser absorvida, como num canal como o Discovery Chanel que ao ver, já saberemos um pouco mais, assim são as aulas, é extremamente chato só ler, mas ver, comprovar, testar, traz mais vontade de aprender".
9	"Estou aprendendo muita coisa, às vezes esqueço alguma coisa, se eu fizesse as tarefas propostas poderia entender cem por cento (100%), mas como eu sou sem vergonha..."
10	"Alguns assuntos eu aprendi com mais facilidade e outros fiquei com um pouco de dúvidas (elas sempre aparecem). Mas de um modo geral, eu consegui aprender, procurando sempre me esforçar".
11	"Acho que sim, talvez pelo simples fato de as aulas serem meio "corridas" e muita informação em pouco tempo não dá para guardar (pelo menos pra mim)".
12	"Estou aprendendo bem Física, pois a matéria é bem explicada, e há muito interesse da professora".
13	"Sim, pois quando não compreendo algo, eu vou atrás tirar dúvidas com a professora ou em livros".
14	"Algumas coisas. Física acho interessante, mas nunca gostei. Sempre vou nas provas, às vezes leio e releio um texto sobre algum assunto de física e não entendo, faço as contas e às vezes acerto e erro de bobeira na prova".
15	"Dá para aprender bem mais com as aulas de agora, pois chama mais a atenção, e faz com que os alunos participem mais das aulas, eu aprendi bem mais com essa nova tática".
16	"Não que esteja aprendendo no geral da matéria, mas as aulas estão muito boas".
17	"Sim, pois as aulas estão descontraídas e assim é mais fácil de se aprender".
18	"Sim, porque as aulas são bem elaboradas, com experimentos e demonstrações, o que ajuda na aprendizagem. Em uma avaliação de 0 a 10 eu me daria 7".
19	"A parte teórica relacionada ao que vemos é bastante esclarecedora, a parte de contas é um pouco cansativa, mas vemos na rua (por exemplo) alguma coisa e nos lembramos do que vimos e relacionamos".
20	"Sim, consigo acompanhar as explicações, às vezes apenas me complico, quando a professora explica meio rápido, devido a sua emoção pela física".
21	"De certa forma sim, estou tendo um pouco de dificuldade porque não temos algo concreto no qual tiraremos as nossas dúvidas".
22	"Mais ou menos, física para mim é muito complicado eu não consigo entender quase nada, mas o problema é comigo "não entra no cérebro", não no modo como é explicada a matéria".
23	"Sim estou, mas tenho uma certa dificuldade de aplicar depois sozinha".
24	"Não muito, pois não tenho muito tempo pra estudar. Nota 5 de 0 a 10".

Tabela 7 – Respostas dos alunos sobre a utilização das animações como facilitador da aprendizagem.

Aluno	Você acha que a utilização das animações nas aulas de Física está facilitando a sua aprendizagem?
1	"Acho que sim, pois é um novo modo de fazer todo mundo prestar a atenção e com certeza grava logo o que aprendeu".
2	"Sim fica melhor para lembrar e melhor para entender".
3	"Muito, uma maneira diferente de aprender é sempre melhor, sem falar que prende melhor a atenção".
4	"Sim, pois, aplicando na prática o conteúdo se aprende mais do que só teoria, assim aprendendo como utilizar a física".
5	"Sim, que só ficar lendo e tentando decorar fórmulas se torna um pouco cansativo com as animações a aula se torna mais divertida e com isso a participação e a atenção dos alunos é aumentada durante a aula".
6	"Sim".
7	"Com certeza, é bem melhor estudar física vendo ela acontecer do que só no papel".
8	"Lógico, ficar parado lendo, trás cansaço, que tira a atenção que não se absorve nenhum conhecimento, as animações dão mais ênfase e motivação para o estudante".
9	"Ajudam muito, mas poderiam ser auto-explicativos para a auto- aprendizagem e posterior estudo da matéria".
10	"Eu acho que facilita sim o aprendizado, tivemos oportunidade de conhecer novas técnicas e conhecimentos, que até então na escola não tinha".
11	"Sim vendo, olhando, podendo controlar e aí meros resultados é bastante importante e aí fica mais fácil gravar e principalmente aprender".
12	"Sim, porque na prática os conteúdos são mais entendidos".
13	"Sim, pois conseguimos visualizar melhor onde aplicar os conceitos".
14	"Mais ou menos, porque as aulas são meio corridas".
15	"Sim, pois nelas podemos ver exatamente como acontecem os fenômenos, as animações são claras e de fácil compreensão".
16	"Sim, pois a gente vê não só a parte teórica, mas também a prática".
17	"Sim, pois fica mais fácil de se entender".
18	"Sim".
19	"Muito, assim tendo mais visibilidade do que realmente acontece".
20	"Sim, pois são animações onde a gente pode brincar e acaba entendendo o porque elas se tornam diferentes se mudarmos os dados".
21	"Sim, pois assim estou vendo como funciona uma onda de uma forma diferente".
22	"Sim, facilita, pois vemos na prática não apenas uma teoria, vemos como funciona.
23	"Sim, pois as aulas estão legais, ninguém dorme todos prestam atenção".
24	"Sim, prende a atenção dos alunos".

Tabela 8 – Respostas dos alunos sobre o seu interesse nas aulas em função das animações.

Aluno	O uso de animações o está deixando mais interessado?
1	"Sim, pois da para participar, fica mais interessante e bem diferente".
2	"Sim, sei lá parece que mostra tudo da onde vem como acontece e como é isso é legal".
3	"Sim, me prende mais a atenção".
4	"Sim, pois aprendemos a utilizar a física em nossos dias".
5	"Sim, com isso não deixa tirar a atenção da aula e com isso aprendo mais e com melhor esclarecimento de minhas idéias meu aprendizado aumentou".
6	"Com certeza".
7	"Sim, pois saí da rotina das outras disciplinas e se percebe fenômenos curiosos".
8	"Sim, comprovar com os próprios olhos, mãos, etc., faz criar um raciocínio lógico dos problemas recém-apresentados e não cria confusões no consciente".
9	"Sim".
10	"Sim, aprendemos muitas coisas, na qual não havíamos conhecimento, mas às vezes é difícil acompanhar, pois são muitas informações".
11	"Sim, me incentiva a prestar mais atenção e até também arrumar dúvidas".
12	"Sim, pois é muito mais interessante".
13	"Sim".
14	"Não".
15	"Sem dúvida, pois ela é diferente a tudo o que já vimos, acho que envolve mais os alunos, todos ficam concentrados".
16	"Não digo mais interessado, mas mais envolvidos no assunto".
17	"Sim, pois a aula não fica chata".
18	"Da minha parte falta interesse, mas algumas animações até são legais".
19	"Sim, queremos ver mais coisas e temos esse tempo, o quadro é muito estático não dá para compreender exatamente o que está acontecendo, já as animações".
20	"Sim, afinal, dizem que é brincando que se aprende".
21	"Sim, pois estamos provando que acontece certas coisas que já haviam sido provadas em séculos passados".
22	"Sim, envolve mais, prende a atenção".
23	"Sim uma maneira melhor de aprender".
24	"Sim, pois não fico sempre na mesma coisa".

Tabela 9 – Respostas dos alunos sobre as animações que mais lhe chamaram a atenção.

Aluno	Qual (is) a(s) animação (ões) que mais lhe chamou a atenção?
1	"Para saber o diâmetro do cabelo, eu achei bem interessante. As experiências com o CD e a caixinha de pasta de dente. O vídeo da Kika sobre as ondas".
2	"As ondas (na água). O diâmetro do fio do cabelo e o laser".
3	"Estou gostando de todas, mas os experimentos e um DVD que assistimos na primeira aula de ondas (DVD da Kika) são os melhores".
4	"Eu gostei muito do espectroscópio, a difração com laser, em fim, todos eu gostei".
5	"As experiências, aquela do potinho de filme, a caixinha de pasta de dente, o Data Show e etc."
6	"As de como as cores e as ondas passam pelas fendas".
7	"Eu acho que todas foram importantes, são como uma escada que você só pode avançar se "pisar" no primeiro "degrau".
8	"Fazer as experiências participar nelas, utilização da parede para por a matéria evita da dor no pescoço do cansaço que ajuda a visualizar melhor os problemas e teorias e entendê-las usar o CD para ver em casa, ajuda a fixar a matéria".
9	"Sem dúvida nenhuma aquelas "ondas" do CD. Uma obra prima da programação, o autor é fera! Também tinha uma que mostrava refração, difração e princípio de Huygens usando umas linhas paralelas em um quadrado amarelo em cima".
10	"Não possui uma animação que me chamou mais a atenção, eu gostei de todas, todas foram interessantes".
11	"Aquela que mostrava o comprimento de onda conforme a cor e aquele que podia-se controlar a frequência da onda, comprimento, amplitude, etc."
12	"A animação da menininha na primeira aula sobre o assunto".
13	"A animação do DVD – Kika".
14	"Não lembro o nome".
15	"Ondas do som, a interferência e a difração".
16	"As de difração da onda e comprimento de onda".
17	"Aulas na UCS, demonstrações, Data Show, outros".
18	"Não lembro o nome, mas era sobre difração".
19	"A que mudava a amplitude da onda, a cor, o tamanho".
20	"As da difração, onde a onda contornava os obstáculos, aquele onde foram postas várias ondas sobrepostas, para mostrar as fases e as interferências..."
21	"Quase todos".
22	"A da Kika, a primeira passada no DVD. O que é onda?"
23	"A parte das experiências".
24	"Gostei do vídeo que assistimos".

Tabela 10 – Respostas dos alunos sobre as demonstrações como facilitadoras da aprendizagem.

Aluno	Você acha que as demonstrações facilitam a aprendizagem da Física? De que forma?
1	"E muito, mostrando vídeos".
2	"Sim, mostrando como acontece".
3	"Sim, de forma prática, para que possamos ver e entender melhor".
4	"Sim, pois aprendemos como realmente funciona e onde podemos utilizá-la".
5	"Sim a forma que utilizada como funciona aquilo, o efeito que faz aquilo a que é preciso para funcionar e com isso o entendimento fica mais claro".
6	"Sim, pois vamos a parte teórica em prática".
7	"Sim, porque é uma coisa a professora falar como funciona e é outra ela mostrar como funciona".
8	"Sim, só teoria é difícil de compreender, mas prática, quando feita uma vez, não se esquece mais e até faz querer tentar fazer outras experiências".
9	"Sim, a prática é sempre essencial".
10	"Sim, antes na escola não tínhamos acesso a esses materiais e isso dificultava um pouco, agora nas aulas da UCS facilitou nosso aprendizado, conseguimos entender melhor a matéria".
11	"Sim, pois você está ali presenciando tal fato, vendo como funciona, porque funciona".
12	"Facilita, pois o que é mostrado na animação prende a atenção facilitando a aprendizagem".
13	"Sim, pois a compreensão é melhor".
14	"Sim, mas na parte teórica não, porque eu leio sobre o experimento e não entendo".
15	"Da mesma forma que as animações é um método diferente de ensinar não deixa os alunos "enjoar" das aulas".
16	"Sim, pois foram vistas com mais clareza as propriedades".
17	"Sim, pois podemos ver de verdade e de perto as demonstrações e não só no livro".
18	"Um pouco, por que além da explicação da professora a demonstração ajuda a entender os processos".
19	"Nos mostrando no que realmente é usado nos permitindo visualização".
20	"Sim, pois visualizando o resultado, aprende-se melhor".
21	"Sim, pois estamos vendo todas as estruturas possíveis e existentes em uma onda, todas as suas propriedades".
22	"Sim, ajudam a entender melhor, vemos, testamos, podemos participar".
23	"Sim, com elas é mais fácil aprender".
24	"Sim, só na teoria não é legal, aprendemos a fazer acontecer o que estamos estudando".

Tabela 11 – Respostas dos alunos sobre seu interesse nas aulas em função das demonstrações.

Aluno	A realização das demonstrações lhe deixou mais motivado para aprender?
1	“Mais ou menos, porque não adianta eu não me identifico com as matérias de física, assim como a física não se identifica comigo”.
2	“Sim”.
3	“Sim, por ser uma maneira divertida de aprender, diferente assim como as animações”.
4	“Sim, pois consegui entender muito mais”.
5	“Sim, quando a pessoa não está prestando muita atenção com uma demonstração faz com que a aula fique interessante de novo como fosse um passe de mágica o interesse volta a mente e com isso voltasse a se motivar para aprender mais”.
6	“Sim”.
7	“Sim”.
8	“Sim, sou muito preguiçoso na escola, principalmente agora no terceiro ano, mas o fato de usar a prática nas experiências me motivam a entender e compreender melhor o “porquê que aquilo acontece”.
9	“Sim, e me deixaram com vontade de brincar”.
10	“Sim, e muito as demonstrações chama muito a atenção, dá sempre vontade de aprender mais, de fazer as demonstrações”.
11	“Aquela de medir o diâmetro de um fio de cabelo, a variação do mesmo dependendo da cor dele”.
12	“Sim”.
13	“Sim”.
14	“Sim”.
15	“Muito mais, pois ficamos super concentrados, ansiosos para ver o que vai acontecer, procurando encontrar os pontos na parede, dá ânimo ao aluno ir para uma aula diferente”.
16	“Sim, porque da pra vê como é feita a função da matéria aprendida”.
17	“Sim, fica mais legal”.
18	“Um pouco”.
19	“Sim”.
20	“Sim, pois facilitou o entendimento e a compreensão do assunto”.
21	“Sim, pois é empolgante fazer algo funcionar”.
22	“Sim”.
23	“Sim, me deixa curiosa pela aula, com isso fico ligada”.
24	“Sim, me interessei mais”.

Tabela 12 – Respostas dos alunos sobre as demonstrações que mais lhe chamaram a atenção.

Aluno	Qual a demonstração que mais lhe chamou a atenção?
1	"A de medir o diâmetro do cabelo, quando pegaram o fio do meu cabelo que é muito fino".
2	"O potinho do filme com a fenda no fundo que dava para analisar a luz do laser".
3	"Aquela em que a gente fez dois furinhos num pedaço de latinha e olhou para uma luz".
4	"O espectroscópio".
5	"Aqueles feitas com laser e a da caixa de pasta de dente".
6	"as da reflexão".
7	"as demonstrações de difração com ondas luminosas (luz, laser)".
8	"Usar difração para medir fios, sei que a medição em mecânica é muito complicada e erro de leitura em peças com tolerâncias mínimas dá dor de cabeça, como o laser não amassa a peça medida, dá então uma leitura exata e melhor que em aparelhos".
9	"O espectroscópio, a difração nos bigodes da gata e a lata com dois furinhos".
10	"Todas elas foram muito interessantes, a da caixinha de pasta de dente, eu adorei, depois ficava brincando com aquilo em casa, muito legal".
11	"Na aula, eu gostei da caixinha de pasta de dente, o espectroscópio".
12	"A que media o fio de cabelo de um colega".
13	"A do fio de cabelo".
14	"A fenda que a gente fez no tubo de filme".
15	"Não dá para citar apenas uma, todas são muito interessantes todos ficaram comentando o que aconteceu ou não, todas me chamaram muito a atenção".
16	"A dos espelhos da primeira aula na UCS".
17	"Difração (com laser, difração na sombra)".
18	"A demonstração do laser".
19	"A do fio de cabelo".
20	"Aquilo que mostrou a difração na sombra da mão, aquela fenda em tubo de filme".
21	"Quando ela mostrou as interferências existentes em um CD".
22	"A que a gente usou o pedaço de latinha para ver a luz".
23	"A montagem de nossos materiais de experiências, saber da onde vem".
24	"A do laser na parede, difração".

Tabela 13 – Respostas dos alunos sobre as animações substituindo as demonstrações.

Aluno	Você acha que as animações poderiam substituir as demonstrações?
1	“Acho que não as duas juntas com certeza é melhor, quanto mais animações melhor e demonstrações para nós participar também”.
2	“Não”.
3	“Não, são as duas maneiras diferentes que ajudam e completam-se juntas num trabalho melhor”.
4	“Não, na minha opinião usaria as duas, para facilitar a aprendizagem”.
5	“Não as duas juntas fazem com que a aula fique interessante e não tire a motivação dos alunos aprenderem”.
6	“Não”.
7	“Não, pois as duas são importantes e precisam estar juntas”.
8	“Não, as duas juntas são mais fortes. Na escola, sem recursos informáticos, as experiências são melhores, pois não há o uso de recursos como apresentação de slides, flashs. Mas ver a teoria valendo na prática é muito interessante”.
9	“Nem todas, a não ser que muito bem feitas”.
10	“Ambas são muito importantes, as duas facilitam o método de ensino, é muito fácil aprender assim”.
11	“Não, de maneira alguma, ambas se completam, as animações ajudam nosso entendimento e as demonstrações ajudam também”.
12	“Não”.
13	“Não”.
14	“Não, prefiro as demonstrações”.
15	“Nem todas, mas algumas interagem mais, nós mesmos fizemos nossas experiências baseadas nas demonstrações apresentadas”.
16	“Eu acho que é necessária as duas coisas, pois primeiro a gente vê como é feita a experiência e depois nós fazemos a experiência”.
17	“Não, as animações são mais interessantes e a aula fica mais legal”.
18	“Em alguns casos”.
19	“Não”.
20	“Não, pois na demonstração a gente vê na prática e com as animações a gente enxerga o que aconteceria. Uma depende da outra”.
21	“Não”.
22	“Não, as duas são importantes e agradam muito”.
23	“Acho que elas juntas caminham bem”.
24	“Não, os dois juntos é legal”.

Tabela 14 – Respostas dos alunos sobre o mapa conceitual como facilitador da aprendizagem.

Aluno	Você considera que o mapa conceitual facilitou o entendimento da matéria? De que forma?
1	"Sim, a entender mais sobre ondas, suas características mais desenvolvidas e bem distribuídas".
2	"Mais ou menos não consegui fazer direito ainda mais é uma boa maneira".
3	"Sim, pois é uma maneira de estudar, onde a gente volta sempre a matéria, revisando-a".
4	"Sim, pois a cada mapa revemos todos os conteúdos, e assim fica melhor para entender".
5	"Sim, porque fazendo ele tive que olhar o conteúdo e ler, com isso foi mais rápido para aprender".
6	"Um pouco, pois assim damos uma revisada geral da matéria".
7	"Sim, por que a matéria tem várias partes diferentes e com os mapas ficou resumindo as partes mais importantes junto com os seus devidos conceitos".
8	"Sim, fazer as ligações dos conteúdos da matéria, evita uma confusão na cabeça. Com o mapa, o conteúdo sai mais solto, sem nós confusos".
9	"O dia que fiz, sim".
10	"Toda vez que fazíamos o mapa conceitual, a matéria era revista, facilitando bastante, é até um modo bem mais fácil de estudar para as provas".
11	"Sim, principalmente por fazê-los várias vezes. Acho que até que mostramos o que foi aprendido o que aprendemos de verdade e isso ajuda a mostrar no que temos dificuldade e a parte frágil do nosso aprendizado, digo, o que temos que concentrar mais a nossa atenção".
12	"Facilitou, pois quando faz o mapa já estuda o conteúdo".
13	"Sim, pois uma forma de estudo e ampliação de conhecimentos".
14	"Não, eu fiquei mais confusa e porque eu não entendi alguns assuntos".
15	"Facilitou muito, pois tenho que fazer mais de um por aula, porque quando vou rever está faltando algo e tenho que fazer tudo de novo, assim vou aprendendo mais".
16	"Facilitou, pois foram menos repetições do mesmo".
17	"Sim, ao fazer o mapa temos que aprender todo o conteúdo".
18	"Não para mim o mapa não ajuda".
19	"No meu caso não, acho que dificultou um pouco, talvez pelo fato de não ter conseguido entender como ele é feito".
20	"Sim, pois com o mapa tivemos que encontrar palavras chaves, para melhor entender".
21	"Sim, fazendo-o tenho que relembrar de tudo que aprendi durante as aulas".
22	"Sim, pois você revisa o conteúdo de uma forma mais prática, resumida, direta".
23	"Não sei direito, pois é uma coisa nova, senti dificuldade pra fazer os mapas".
24	"Não, pra mim ficou indiferente".

Tabela 15 – Respostas dos alunos sobre as consultas que tiveram que fazer para construir o mapa conceitual.

Aluno	Você consultou o material disponível no CD para fazer o mapa conceitual? Consultou outros materiais? Cite quais:
1	"Com o CD, algumas vezes, tem bastante páginas, consultei outros livros de Física, a Internet e a ajuda da minha irmã mais velha que ama física".
2	"Livro de Física".
3	"O material do CD ajudou bastante, mas eu consultei livros de física também".
4	"Sim, consultei o CD e outros livros de física e alguma coisa na Internet".
5	"Sim consultei o CD e o nosso livro de física".
6	"Não (não tenho Pc)"
7	"Sim, estudei várias vezes pelo Cd e algumas pelo livro (que estava bem mais resumido)".
8	"Sim, o material no Cd me fez revisar o que por algum motivo devo ter esquecido, por ter tanta informação o conteúdo acaba ficando complexo e difícil de por num papel para quem recém aprendeu".
9	"Consultei o CD e só".
10	"Sim, mas algumas coisas não consegui abrir, procurei pela Internet e em livros".
11	"Na verdade não, eu não tenho computador. Consultei alguns livros".
12	"Só o CD e o livro de física".
13	"Sim o CD e o livro de física".
14	"Sim, eu também consultei em outros sites, mas não lembro o nome".
15	"Consultei o Cd e também nosso livro".
16	"Sim, livros de física moderna".
17	"Sim, os livros, o Cd, a Internet e a professora".
18	"Consultei o CD".
19	"Os que fiz atrasados consultei livros e o CD".
20	"Não tive como abrir o CD, mas usei vários livros diferentes".
21	"Sim, consultei outros livros e a Internet".
22	"Sim, livros, Internet, apostilas".
23	"Consultei os exercícios, o CD e a Internet".
24	"Não".

Tabela 16 – Respostas dos alunos sobre quais conteúdos não eram mais necessários serem consultados para construir o mapa.

Aluno	Nos últimos mapas conceituais que você fez, sentiu necessidade de consultar todo o material ou já havia assuntos que você podia escrever sem consultar o material? Quais?
1	“Todos os mapas que fiz tive que consultar sim, os materiais, mas alguns assuntos como: comprimento de onda, as difrações etc.. Não era necessário o uso do material”.
2	“Consultei, mais eu acho que eu sou muito burra e não consegui fazer e desisti”.
3	“Sim, os inícios sobre o básico de ondas não precisei consultar, pois foi muitas vezes revisado em todos os mapas.”
4	“Não, os primeiros conteúdos já não precisava mais procurar, como superposição de ondas, período, frequência e interferência”.
5	“Alguns não precisei pesquisar como ondas mecânicas, eletromagnéticas, difração, interferência, período, frequência e etc...”.
6	“Não, precisei dos colegas e de livros”.
7	“Sim, nos últimos já tinha matérias que eu já tinha decorado como as classificações quanto a natureza: mecânicas e eletromagnéticas, quanto a direção da vibração: transversais e longitudinais, direção de propagação: uni, bi ou tridimensionais”.
8	“Nos assuntos recentes ocupei, pois absorver tão depressa é complicado, mas nos outros, já havia uma certa clareza do conteúdo e ficou mais fácil a não utilização de consulta”.
9	“Eu sei tudo (segundo a professora Vera, sei mesmo)”
10	“Algum assunto não teve necessidade de consultar, mas outros eu tive que pesquisar em alguns materiais, porque eu não tinha muitas informações sobre aquele determinado assunto”.
11	“Na verdade sim, pois só com poucos livros (e muitos não tinham a matéria completa) e com muita informação sendo nos dada durante a aula é difícil guardar tudo e depois passar para o papel (principalmente)”.
12	“Na maioria dos assuntos não precisava olhar, pois já sabia o que significava”.
13	“Sim, conceitos básicos já conseguia fazer sozinha.”.
14	“Eu tinha que ver todo o assunto de novo, porque eu não sei fazer direito um mapa conceitual, eu não consigo ligar os assuntos. Acho todos que eu achava que era necessário”.
15	“Alguns assuntos não precisaram de consulta de tanto que eu fiz, como superposição alguma coisa em interferência e difração”.
16	“Em todos os mapas consultei o material para ter certeza que está certo”.
17	“Tive que consultar todo o material novamente”.
18	“Não, já tinha assuntos como as características das ondas, os tipos e outras que não precisei mais consultar”.
19	“Houve apenas a necessidade de rever os que foram feitos anteriormente”.
20	“Preferi consultar o material”.
21	“Alguns não houve necessidade, mas outros sim. Em difração tinha certas explicações que não ficaram bem claras”.
22	“Alguns assuntos mais fáceis eu sabia, mas a maioria pesquisei em outras fontes”.
23	“Já havia algumas coisas que sabia com certeza, mas a maioria eu consultava pela dificuldade”.
24	“Não consultei”.

Tabela 17 – Comentários críticos dos alunos sobre o CD disponibilizado.

Aluno	Faça um comentário crítico sobre o material de apoio (CD) disponibilizado.
1	"Só tem um único comentário, tem muitas páginas, é extenso demais. É bem complicado".
2	
3	"Uma forma diferente, extra-aula. Foi bem utilizado e de bom uso. Simplesmente AMEI".
4	"O CD é um material ótimo, pois, com ele conseguimos aprender muito mais, entender mais, e ter um bom lugar para pesquisa".
5	"Está muito bom ele esclarece várias dúvidas e ajuda bastante para fazer o mapa conceitual, mas pode ser aprimorado".
6	"Não tenho como abrir o CD".
7	"Muito bom, e importante para aprender, seria bom se tivesse um Cd para cada matéria".
8	"Ótimo, deveria haver um Cd com todo o conteúdo do ensino médio, que ajudaria e muito no vestibular para fazê-lo sem dar brancos".
9	"É muito extenso, o mapa é confuso demais, mas não deixa de ser um ótimo material de consulta".
10	"Gostei do uso do CD, não consegui ver todo o conteúdo dele, um aspecto que eu não gostei muito foi que nem todos possuem computador e isso dificulta o ensino".
11	
12	"Um Cd bem explicativo, que me ajudou a fazer os exercícios, os mapas e os trabalhos".
13	"Gostei, pois foi uma maneira diferente e criativa de incentivar o estudo. Ajudou a tirar dúvidas sobre as aulas. Sem a necessidade de consultar a professora".
14	"Sinceramente eu não consegui abrir algumas coisas".
15	"O material é de fácil entendimento, as animações fazem com que eu entenda melhor as matérias, apesar dos textos um pouco longos e ter muita coisa nele, mas foi bem melhor assim do que com o auxílio do livro".
16	"Muito bom contendo todas as atribuições necessárias".
17	"Muito legal, pois ajuda muito, porque apenas em duas aulas não dá para aprender tudo e tirar todas as dúvidas e com o CD a compreensão fica mais fácil".
18	"Não saberia fazer uma crítica, porque o que tinha no Cd era suficiente".
19	"Foi muito bom, pois além de chamar a atenção de nós jovens por ser um material dinâmico e algo novo e atual nos deixou curiosos para saber do que se tratava".
20	
21	"De certo modo ajuda, mas de outro só contém (em grande maioria) explicações das experiências e o material utilizado. Deveria haver algo mais concreto".
22	"Materiais extra sempre ajudam, é um reforço a mais para entender a matéria".
23	"Muito extenso, mas muito bom".
24	"Não pude olhar o Cd ainda....".

Tabela 18 – Comentários críticos dos alunos sobre a realização de experimentos, animações, mapas conceituais ou qualquer outra natureza.

Aluno	Inclua abaixo os seus comentários sobre o material oferecido na forma de CD e sobre a realização dos experimentos. Descreva as dificuldades encontradas, seja na realização do experimento, na compreensão do material didático ou de qualquer outra natureza. Como este material esta em desenvolvimento qualquer comentário, critica, identificação de falhas ou erros será bem vinda.
1	“Eu só acho que é muita matéria para se estudar em mais ou menos dois meses e alguma coisa. Fica bem corrido, mas do resto, foi ótimo a professora é uma profissional mesmo”.
2	“Acho que ruim mesmo é só que é muito tempo de uma semana para a outra. O conteúdo é bem explicado, o CD uma forma bem criativa de estudo e o material didático bem aproveitado e bem interessantes”.
3	“Amei as aulas na UCS, foi super divertido. O Cd foi bem interessante, era uma aula extra do que aprendíamos em aula normal. Parabéns, as aulas foram muito criativas”.
4	“Tudo o que foi oferecido, eu consegui entender, então não tenho nenhuma crítica a fazer”.
5	“No CD teria que ter mais alguns experimentos como aquele da amplitude os experimentos estão bons e bem explicados, mas, falta tempo para terminá-los e falta mais tempo também para fazer o mapa conceitual na aula e olhar alguns livros”.
6	“As partes práticas são ótimas para compreender a matéria, as minhas dificuldades na compreensão tem haver comigo”.
7	
8	“Achei ótimo o método, como o CD tem 700mb, poderia ser usado apresentações em slides, que faltou, como um resumo do texto que por ter mais de noventa páginas torna cansativo lê-lo. O que tem no CD é só sobre difração e interferência, deveria ter todo o Ensino Médio nele, mas sei que é complicado. Fazer a experiência, logo depois de ver a teoria, serve como uma cola e fixa direto o conteúdo. Gostei muito de acordar cedo e ir à escola ou à UCS, fiquei motivado desde da primeira aula, como sou preguiçoso, é difícil me motivar para acordar cedo, consegui assimilar o conteúdo com o ramo que poderei trabalhar, isso me motivou ainda mais. Infelizmente o ano chegou ao fim, mais de uma forma boa, entendo um pouco do assunto, “um pouco” porque é difícil, mas diferente de outras matérias, entendi o conteúdo. Desculpe-me os erros de grafia e de português. Obrigado”.
9	“CD rumo a versão 2.0 PDF Java+, vai ficar jóia! Só uminha crítica! Manera na velocidade às vezes!”
10	“Os experimentos, animações e o CD facilitaram o meu aprendizado. Encontrei algumas dificuldades na parte das “informações”, eram muito rápidas e muitas vezes não conseguia acompanhar. Isso me prejudicou um pouco”.
11	“Não tenho computador e não tenho acesso a um. Senti dificuldades nas questões teóricas por estar contido no CD e nas aulas, são muitas informações e isso dificulta o entendimento”.
12	“O que precisei encontrei no CD”.
13	“As aulas foram legais, pois o uso de outros métodos (Data Show) ajudam a prender a atenção e entender melhor. O CD também foi útil para dúvidas posteriores e as demonstrações ajudaram na compreensão”.
14	“No CD é muita informação e eu não consigo entender o assunto. É difícil usar o material para fazer os mapas conceituais”.
15	“Acho que o CD e o experimento só vieram a ajudar nossa compreensão da matéria, mas acho que devia ter mais aulas na semana, ficamos muito tempo sem ir para o laboratório”.
16	“No CD para mim foi muito utilitário, sendo que para outros não foi possível abri-lo em seu micro, mas no resto foram muito lucrativas as aulas”.
17	“A aula deste ano (2006) ficou muito melhor com essa nova fórmula de aulas, pois saiu da rotina das outras aulas e da própria aula de física”.
18	“O uso do material fornecido foi bom, talvez a forma de gravação do CD dificultou o desenvolvimento”.
19	“O material, as explicações foram excelentes acho que não teríamos compreendido e com toda a facilidade que tivemos, a única coisa é que era explicado muito rápido não dava tempo para raciocinar, mais termos que ir longe da escola, não que isso fosse um problema, mas se a escola tivesse um Data Show seria mais fácil para alunos e

	professores”.
20	“Os experimentos foram bem feitos, explicando bem”.
21	“As demonstrações estão ótimas e bem explicadas, mas como já citei na pergunta acima, o CD contém alguns “probleminhas””.
22	“Foram bem legais as aulas na UCS, foram diferentes o uso de materiais extras, o data show, os experimentos são muito importantes para uma maior compreensão, a dificuldade em entender a matéria é normal, pois é uma matéria complicada, mas sempre foi passada da melhor forma possível, para melhor entendimento”.
23	“As aulas são ótimas criativas animadas e a professora explica muito bem claramente”.
24	“Pra mim as aulas estão boas, eu que não consigo às vezes prestar atenção nas aulas”.

ANEXOS

ANEXO A

Como Construir um Mapa Conceitual

Profª. Fernanda Ostermann

Prof. Marco Antonio Moreira

1. *Identifique os conceitos- chave* do conteúdo que vai mapear e ponha-os em uma lista. Limite entre seis e dez o número de conceitos.
2. Ordene os conceitos, colocando o(s) mais geral (is), mais inclusivo (s), no topo do mapa e gradualmente vá agregando os demais até completar o diagrama de acordo com o princípio de da diferenciação progressiva.
3. Se o mapa se refere, por exemplo, a um parágrafo de um texto, o número de conceitos fica limitado pelo próprio parágrafo. Se o mapa incorpora também o seu conhecimento sobre o assunto, além do contido no texto, conceitos mais específicos podem ser incluídos no mapa.
4. Conecte os conceitos com linhas e rotule essas linhas com uma ou mais palavras chave que explicitem a relação entre os conceitos. Os conceitos e as palavras – chave devem sugerir uma proposição que expresse o significado da relação.
5. Evite palavras que apenas indiquem relações triviais entre os conceitos. Busque relações horizontais e cruzadas.
6. Exemplos podem ser agregados ao mapa, embaixo dos conceitos correspondentes. Em geral, os exemplos ficam na parte inferior do mapa.
7. Geralmente, o primeiro intento de mapa tem simetria pobre e alguns conceitos ou grupos de conceitos acabam mal situados em relação a outros que estão mais relacionados.
8. Talvez neste ponto você já comece a imaginar outras maneiras de fazer o mapa, outros modos de hierarquizar os conceitos. Lembre-se que não há um único modo de traçar um mapa conceitual. À medida que muda sua compreensão sobre as relações entre os conceitos, ou á medida que você aprende, seu mapa também muda. *Um mapa conceitual é um instrumento dinâmico, refletindo a compreensão de quem o faz no momento que faz.*

Compartilhe seu mapa com colegas e examine os mapas deles. Pergunte o que significam as relações, questione a localização de certos conceitos, a inclusão de alguns que não lhe parecem importantes, a omissão de outros que você julga fundamentais. *O mapa conceitual é um bom momento para compartilhar, trocar e “negociar” significados.*

ANEXO B

ENSINANDO DIFRAÇÃO PARA ALUNOS DO ENSINO MÉDIO

Scheila Vicenzi^a [e-mail: svicenzi@pop.com.br]

Silvio L. S. Cunha^b [e-mail: slsc@if.ufrgs.br]

Helena Libardi^c [e-mail: hlibardi@terra.com.br]

- a) Escola Estadual de Ensino Médio Apolinário Alves dos Santos, Caxias do Sul, RS e Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física, UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul).
 - b) Instituto de Física – UFRGS, Mestrado Profissional em Ensino de Física, UFRGS
 - c) Departamento de Física e Química, UCS (Universidade de Caxias do Sul)
- * Trabalho apoiado pela CAPES, UFRGS, CREF e MPEF.

RESUMO

OS FENÔMENOS ONDULATÓRIOS TÊM UM PAPEL DESTACADO NA NATUREZA. SÃO INÚMEROS OS FENÔMENOS DA NATUREZA QUE PODEM OU NECESSITAM SEREM DESCRITOS POR MODELOS ONDULATÓRIOS. ALGUMAS CATEGORIAS DE FENÔMENOS ONDULATÓRIOS FORAM E SÃO ESSENCIAIS PARA A EVOLUÇÃO E SUSTENTAÇÃO DA VIDA SOBRE A TERRA E ESTÃO PRESENTES NA MAIORIA DAS MODERNAS TECNOLOGIAS. ENTRE ESTES SE DESTACAM TODOS AQUELES QUE SE RELACIONAM COM A TRANSMISSÃO DE INFORMAÇÃO OU DE ENERGIA, COMO O SOM, A LUZ, BEM COMO TODAS AS FORMAS DE ONDAS ELETROMAGNÉTICAS. A MECÂNICA QUÂNTICA TEM UMA DAS SUAS REPRESENTAÇÕES FUNDAMENTAIS BASEADA EM UM MODELO ONDULATÓRIO. A PRINCIPAL ASSINATURA DOS SISTEMAS ONDULATÓRIOS RESULTA DA PROPRIEDADE DE SUPERPOSIÇÃO DAS ONDAS, DA QUAL RESULTAM DOIS DOS SEUS FENÔMENOS MAIS CARACTERÍSTICOS, A INTERFERÊNCIA E A DIFRAÇÃO. ATRAVÉS DESTES FENÔMENOS É POSSÍVEL ENTENDER ALGUMAS DAS PROPRIEDADES DOS INSTRUMENTOS ÓPTICOS, EM ESPECIAL O PODER DE RESOLUÇÃO DESTES INSTRUMENTOS. A DIFRAÇÃO, POR SUA VEZ, TAMBÉM TEM UM PAPEL FUNDAMENTAL NA FORMAÇÃO DAS IMAGENS GERADAS EM QUALQUER DAS MÍDIAS MODERNAS. PORÉM, APESAR DA SUA IMPORTÂNCIA NA MAIORIA DOS FENÔMENOS DA NATUREZA, A ABORDAGEM DOS ASSUNTOS DIFRAÇÃO E INTERFERÊNCIA SÃO DEFICIENTES NO ENSINO MÉDIO, NÃO TENDO AINDA CONQUISTADO O SEU MERECIDO ESPAÇO NOS CURRÍCULOS ESCOLARES. NESTE ARTIGO DISCUTIMOS ESTA SITUAÇÃO E MOSTRAMOS QUE O ESTUDO DA DIFRAÇÃO É VIÁVEL EM QUALQUER ESCOLA DE ENSINO MÉDIO COM APOIO DE DEMONSTRAÇÕES PREPARADAS COM COMPONENTES DE BAIXO CUSTO ENCONTRADOS NO NOSSO DIA A DIA, COMO O TECIDO DE UMA CORTINA OU UMA SIMPLES TAMPINHA DE FRASCO DE REMÉDIO OU TUBOS DE FILMES FOTOGRÁFICOS. A POPULARIZAÇÃO DOS LASERS DE DIODO DE BAIXO CUSTO, AUMENTA EM MUITO A VARIEDADE DE EXPERIMENTOS DE DIFRAÇÃO QUE PODEM SER DESENVOLVIDOS PARA O ENSINO MÉDIO. AO INTRODUIRMOS DEMONSTRAÇÕES DENTRO DA SALA DE AULA, ESTAMOS FAVORECENDO A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DOS CONCEITOS ABORDADOS.

INTRODUÇÃO

Os fenômenos ondulatórios têm um papel destacado na natureza. São inúmeros os fenômenos da natureza que podem ou necessitam serem descritos por modelos ondulatórios. Podemos observar facilmente ondas nas superfícies da água em um copo, na piscina ou no mar. Podemos até *surf* sobre algumas destas ondas. Também nos assustam as descrições de um *tsunami* ou os tremores devido à onda gerada por um terremoto. Algumas categorias de fenômenos ondulatórios foram e são essenciais para a evolução e sustentação da vida sobre a terra e estão presentes na maioria das modernas tecnologias. Entre estes se destacam todos aqueles que se relacionam com a transmissão de informação ou de energia, como o som, a luz e mais genericamente, todas as formas de ondas eletromagnéticas. A mecânica quântica tem uma das suas representações fundamentais baseada em um modelo ondulatório. A destaque do

papel dos fenômenos ondulatórios na natureza e a importância do seu entendimento é reconhecido por muitos dos autores de textos didáticos, como o manifestado por Gaspar:

“... o conhecimento da óptica ondulatória é essencial, sobretudo para a compreensão das idéias físicas modernas. Por exemplo, a experiência da fenda dupla de Young é básica para a compreensão do enigmático caráter dual da luz.” [Gaspar – 2004],

ou por Cavalcanti et al:

“Para o entendimento adequado do princípio da dualidade (onda- partícula) devemos entender com clareza os fenômenos de interferência e difração”.
[Cavalcante, M.; Jardim, V.; Barros, J. – 1999].

A principal assinatura dos sistemas ondulatórios resulta da propriedade de superposição das ondas, da qual resulta dois dos seus fenômenos mais característicos, a interferência e a difração. Através destes fenômenos é possível entender algumas das propriedades dos instrumentos ópticos como lunetas, telescópios e máquinas fotográficas, particularmente o poder de resolução destes instrumentos, que resultam do efeito de difração da luz através destas aberturas. A difração, em especial, também tem um papel fundamental na formação das imagens geradas em qualquer das mídias modernas, sejam elas em cartazes, jornais, fotos ou displays de equipamentos eletrônicos.

Os fundamentos da formação de imagens e as técnicas de análise e tratamento destas são importantes, não apenas para as tecnologias mais modernas, mas também para as técnicas de fotografia e cinema baseados em filme ou em qualquer aplicação que trabalhe com imagem. Entre estas aplicações estão as artes “gráficas”, desde as pinturas nas cavernas, até a moderna computação gráfica. Na pintura podemos destacar a técnica neo-impressionista do final do século XIX conhecida como pontilhismo, um movimento pós-impressionista surgido na França como reação aos próprios impressionistas e à pintura oficial, que levou os conceitos e os princípios físicos relacionados à formação de imagens ao extremo. Sua característica central é a decomposição tonal mediante minúsculas pinceladas de cores distintas nitidamente separadas [Pitoresco - 2006].

As bases do pontilhismo encontram-se tanto nas idéias de vários físicos do Século XIX, especialmente de Thomas Young (1773 – 1829) e de Hermann von Helmholtz (1821 – 1894), ambos médicos e físicos, que estudaram intensivamente a fisiologia do olho e os processos de formação das imagens e das cores [DÜCHTING – 2000]. Entre os expoentes do pontilhismo estão Georges Seurat e Paul Signac na França. Entre os pintores brasileiros se destacaram Eliseu Visconti, Belmiro de Almeida e Cláudio Tozzi. Nas mídias modernas também podemos constatar facilmente uma característica semelhante ao observar de perto, com auxílio de uma lupa, as imagens geradas nas telas dos tubos de raios catódicos, de cristal líquido ou de plasma. Um aspecto em comum a todas estas imagens, que quando vista em condições normais nos produz a sensação de continuidade ao longo de toda a sua superfície, é a sua constituição *pontilhista*, ou seja, quando vista em detalhe observamos uma justaposição de pontos claros e escuros, em imagens preto e branco, ou de pontos formados pelas cores básicas, no caso de imagens coloridas. O fenômeno físico que faz com que estas imagens pareçam contínuas quando vistas de longe é a difração, uma consequência do caráter ondulatório da luz.

Seria possível relacionar inúmeros outros exemplos de fenômenos ondulatórios relevantes no nosso cotidiano. Porém, apesar da sua importância na maioria dos fenômenos da natureza, a abordagem dos assuntos difração e interferência é deficiente no ensino médio. Um dos fatores se deve a dificuldades teóricas por parte dos professores,

“... Constatamos, através de depoimentos, de vários professores de Física de escolas de ensino médio, que o ensino de óptica, incluindo fenômenos de difração e interferência da luz não é devidamente considerado. Acreditamos que isso pode ocorrer pelas dificuldades teóricas que envolvem o assunto...” [Galli & Salami – 1999],

que por sua vez levam a uma falta de motivação pelo tema,

“...Infelizmente, como ocorre com o estudo de ondas, os professores não gostam desse assunto e procuram evitá-lo. Muitos argumentam que não é importante porque nem os vestibulares e nem a maioria dos livros didáticos lhe dão destaque. É bem provável que isso se deva ao pouco apreço dos professores pelo assunto...” [Gaspar – 2004].

Um outro fator determinante para esta deficiência no Ensino da Física na escola é o pouco tempo disponível para a esta disciplina, que variam de dois a três períodos de 50 minutos, e vasto conteúdo a ser vencido pelo professor neste período. Como consequência o professor acaba sendo obrigado a selecionar os conteúdos, optando normalmente pelo mais simples em termos de teoria ou mais acessível experimentalmente.

A DIFRAÇÃO ATRAVÉS DA HISTÓRIA

O histórico dos estudos dos fenômenos de difração e de interferência está intimamente ligado à também histórica disputa sobre a natureza da luz. Seria a luz onda ou partícula? Esta disputa teve seu ápice na segunda metade do século XVII. Neste período de um lado se destacou o inglês Isaac Newton (1642 – 1727) explicando as propriedades da luz através de uma teoria corpuscular, enquanto o seu conterrâneo e também membro da recém criada Royal Society, Robert Hooke (1635 – 1703), defendia um modelo ondulatório para a luz baseado em suas observações sobre interferência de filmes finos, traçando a partir daí analogias entre a luz e ondas na água. Estas analogias foram compartilhadas pelo italiano Francesco M. Grimaldi (1618-1730), um dos primeiros a observar e descrever o fenômeno da difração da luz. Também a partir das hipóteses de Hooke, o holandês Christian Huygens (1629 - 1695) formulou um modelo ondulatório semiquantitativo para a luz, publicado em 1690 na sua obra *Traite de la Lumière*. Este modelo proposto por Huygens constituiu-se na base das modernas teorias da difração. O prestígio de Newton sustentou a teoria corpuscular até a metade do século XIX [Wikipedia – 2006].

Quase um século depois da publicação por Newton de sua obra *Optika* (1704) esta situação começa a mudar a partir dos trabalhos realizados pelo filólogo, médico e físico inglês Thomas Young. No período em que foi professor de filosofia natural (física) na Royal Institution da Grã-Bretanha (não confundir com a Royal Society of London), de 1801 a 1803, Young realizou intensos estudos a cerca da difração e interferência da luz. Os resultados destes estudos foram publicados no *Bakerian Lecture*, Phil. Trans. Royal Soc. 94 (1804) e no *Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts* (1807), dentre os

experimentos relatados por Young nestas publicações está o seu famoso experimento de difração e interferência em dupla-fenda, aceita hoje como a demonstração definitiva do caráter ondulatório da luz e também considerado como um dos cinco mais belos experimentos de toda a história da Física [Physics World 2002]. As conclusões de Young sobre a natureza da luz foram integralmente corroboradas pelo físico francês Augustin-Jean Fresnel (1788 - 1827). Fresnel realizou observações experimentais envolvendo difração e interferência da luz e desenvolveu a base matemática necessária para descrever os fenômenos da difração, estabelecendo também a base teórica da óptica moderna. As deduções de Fresnel sobre a difração lhe rendeu em 1819 o GranPrix da Académie de Sciences da França. Entre os resultados dos cálculos propostos por Fresnel está a previsão que no centro da sombra de um disco circular opaco deveria haver luz, como descrito por Arago, um dos avaliadores do trabalho submetido por Fresnel ao GranPrix [Wikipedia – 2006]:

Um dos nossos avaliadores, M. Poisson, deduziu das integrais reportadas por Fresnel o resultado singular que no centro de uma sombra de um disco circular opaco deve, quando raios penetram em ângulos de incidência que são apenas um pouco mais oblíquos, ser tão iluminada como se o disco não existisse. As conseqüências foram submetidas a testes de experimentos diretos, e as observações confirmaram perfeitamente os cálculos [Arago 1819, tradução dos autores].

Estes resultados confirmam as observações de Thomas Young publicados em 1804:

As observações sobre os efeitos da difração e interferência podem, talvez e às vezes, ser aplicadas a uma finalidade prática, tornando-nos cuidadosos em nossas conclusões a respeito do aparecimento de corpos muito pequenos vistos em um microscópio. A sombra de uma fibra, mesmo opaca, colocada em um feixe de luz que passa por uma pequena abertura, é sempre menos escura no meio do que nas partes laterais. Um efeito similar pode também ocorrer, em algum grau, com respeito à imagem na retina, e dar a sensação de uma transparência que não tem existência real [Young – 1804a].

Para Young estava clara a importância dos fenômenos de difração e de interferência nos processos de formação das imagens, conforme suas palavras reproduzidas acima.

A DIFRAÇÃO NA SALA DE AULA

Como já mencionado o fenômeno da difração está presente em nosso cotidiano através dos processos de formação de imagens, seja para produzir o efeito de continuidade das imagens que vemos ou limitando a nossa capacidade de separar as imagens de objetos muito próximos, o que determina o poder de resolução dos instrumentos ópticos, inclusive do olho.

A tarefa de demonstrar os fenômenos de difração é relativamente simples e completamente acessível com recursos que dispomos no nosso cotidiano e em qualquer sala de aula. O acesso a estes experimentos é tão simples como o descrito por Young no primeiro experimento de difração e interferência que ele propôs à Royal Society. Segundo as palavras de Young:

A proposição na qual eu insisto no presente é simplesmente esta, que franjas coloridas são produzidas pela interferência de duas porções de luz; e eu penso que não será negado pelo mais preconceituoso, que a asserção é comprovada pelos experimentos que eu estou para relatar, que pode ser repetido com grande facilidade, sempre que o sol raiar, sem qualquer outro aparato que não esteja a mão de qualquer um [Young – 1804b, tradução dos autores]

No experimento que Young segue relatando, um fino feixe da luz do sol é feito atravessar o laboratório horizontalmente com ajuda de um espelho. Este feixe de luz é dividido em dois por meio de um cartão com a espessura de aproximadamente 0,8mm. Young segue narrando o que observou:

Além das franjas coloridas em cada lado da sombra, a própria sombra está dividida por franjas similares paralelas, de dimensões menores, diferindo em número, de acordo com a distância em que a sombra é observada, mas deixando sempre o centro da franja claro [Young – 1804b, tradução dos autores]

Numa versão moderna desta experiência, o feixe de luz do sol pode ser substituído pelo feixe de um laser de diodo de baixo custo e facilmente encontrado no comércio, inclusive no comércio informal de rua. O feixe laser pode ser dividido por um pedaço de fio com espessura um pouco menor que um milímetro, produzindo sobre um anteparo distante um padrão de difração cobrindo a região onde seria observada a sombra do fio. Para uma melhor visualização das franjas de difração podemos ampliar a imagem da sombra, que será projetada no anteparo, utilizando uma lente de distância focal curta (~10cm de distância focal). Obteremos uma imagem das sombras com as franjas como mostrada na foto da Figura 1. Uma outra versão deste experimento é descrita por Walter Scheider [Scheider - 1986].

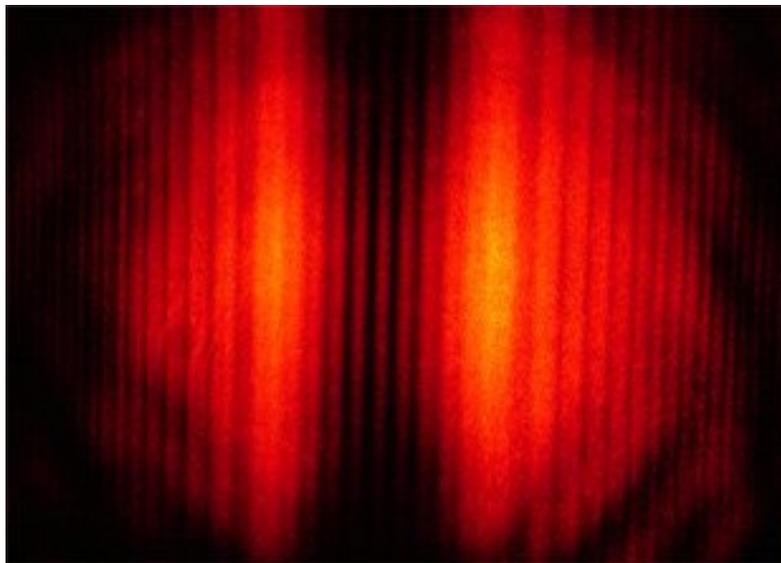


Figura 1 – Difração observada na sombra de um fio de 0,8mm colocado em frente a um laser de diodo.

A maneira mais simples e bela de se constatar a difração é pela observação das luzes da cidade através de um tecido fino, como em geral são os tecidos de algumas cortinas. Na figura 2 é mostrada uma foto das luzes de uma ribalta capturada através de uma cortina. Sobreposto à foto da figura 2 mostramos o padrão de difração que é obtido passando a luz de um laser de diodo através da mesma cortina e projetada sobre uma parede próxima. A imagem de difração mostrada na figura 3 foi obtida de modo semelhante, mas neste caso a fonte é uma vela o tecido que faz o papel de grade de difração é uma tela de serigrafia. Estes dois experimentos mostram exemplos de grades de difração que qualquer um dispõe em casa ou carrega consigo como parte do seu vestuário. Um outro tipo de grade de difração muito eficiente, de baixíssimo custo e amplamente disponível são os discos compactos, CDs ou DVDs. O seu uso para construção de espectroscópicos didáticos de baixo custo tem sido bastante discutido e difundido [Catelli – 1999, Rodrigues – 2003, Catelli e Pezzini – 2004, Ferras - 2006].

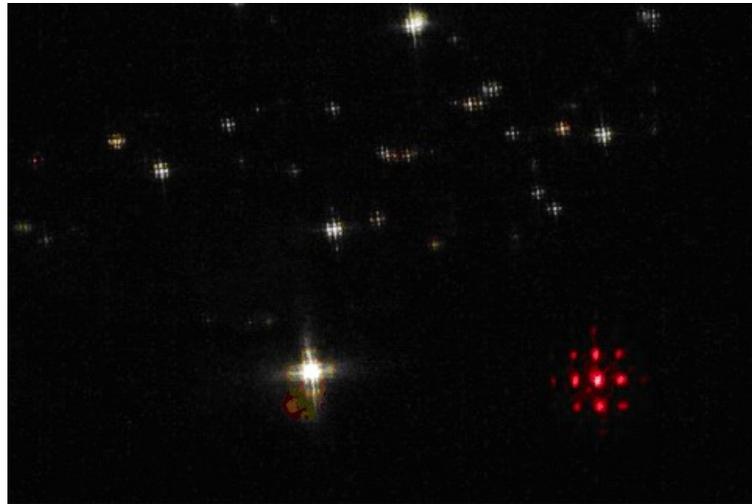


Figura 2 - Luzes da cidade observada através do tecido de uma cortina de janela, mostrando padrões de difração característicos do tecido. No detalhe sobreposto na foto é mostrada a figura de difração obtida passando a luz de um feixe de laser de diodo através do mesmo tecido.

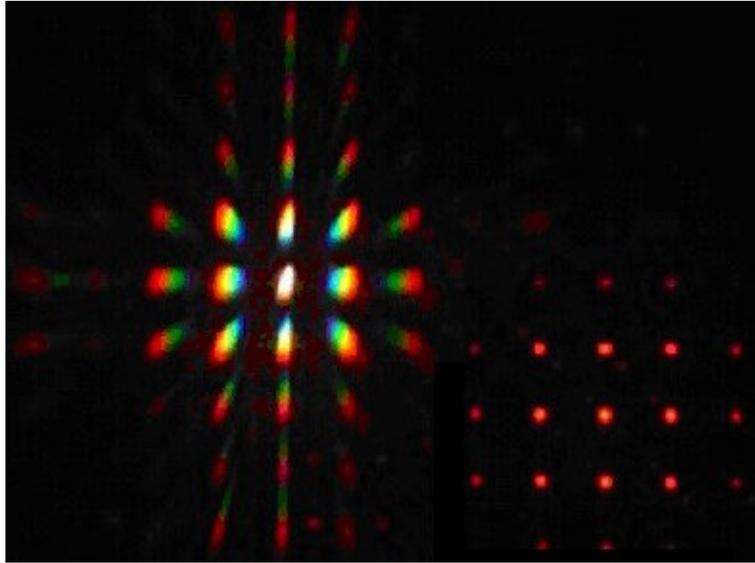


Figura 3 - Luzes de uma vela observada através do tecido de uma tela de serigrafia, mostrando padrões de difração característicos do tecido. No detalhe sobreposto na foto é mostrada a figura de difração obtida passando a luz de um feixe de laser de diodo através do mesmo tecido[Catelli – 2002]

Fendas com espessura variável podem ser facilmente construídas utilizando tampas plásticas de frascos de remédio ou tampas de tubos de filmes fotográficos, como mostrados no detalhe da figura 4. A fenda é obtida fazendo-se um corte de aproximadamente 1 cm, trespassando a espessura da tampa. Para variar a abertura da fenda assim produzida basta aplicar uma leve pressão nas bordas da tampa, na direção em que a fenda foi aberta. Uma fenda semelhante também pode ser produzida no fundo de um tubo de filme, mas neste caso o material não tem flexibilidade que permita variar a espessura da fenda como sugerido no caso da tampa. A figura 4 mostra os padrões de difração obtidos passando o feixe de um laser de diodo por uma destas fendas. Os padrões mostrados na parte inferior e no meio foram obtidos aplicando-se diferentes pressões sobre as bordas da fenda, portanto correspondem a larguras de fenda diferentes. O padrão da parte inferior da foto corresponde à fenda com menor largura. Se olharmos através de uma destas fendas para um conjunto de fontes luminosas distantes, como as luzes da cidade a noite, observaremos uma imagem semelhante à apresentada na figura 2, mas mostrando padrões de difração correspondentes ao da fenda simples. A largura de qualquer uma destas fendas pode ser facilmente determinada a partir da equação dos mínimos da difração, deduzida na aproximação de Fraunhofer [Nave - 2006]:

$$a \sin(\theta) = m\lambda$$

onde a é a abertura da fenda, θ é o ângulo subtendido entre o centro do máximo central até o mínimo de ordem m e λ é o comprimento de onda do laser.

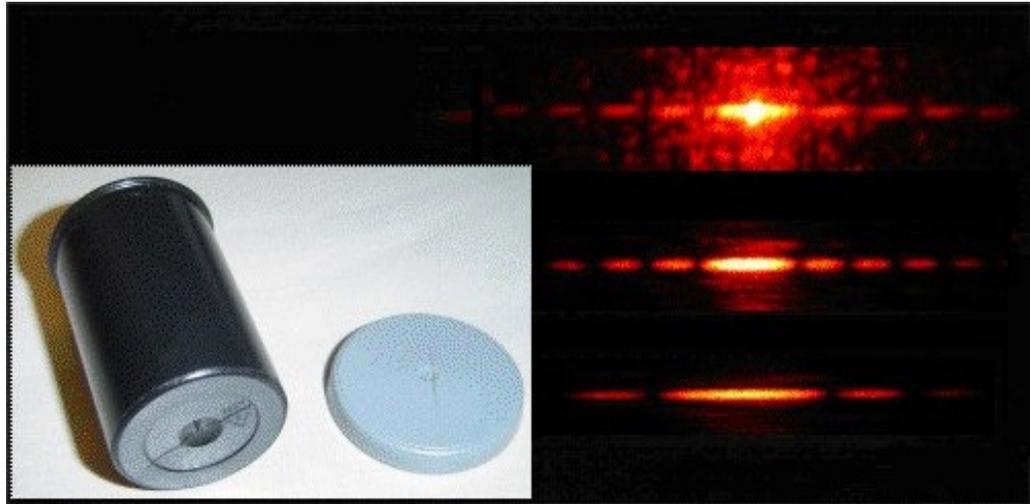


Figura 4 – Na parte inferior a direita da foto é mostrado o padrão de difração da luz de um laser de diodo através de uma fenda produzida em uma tampa plástica de tubo de filmes fotográfico, que é apresentada no detalhe a esquerda. O padrão de difração mostrado no meio da foto corresponde à mesma fenda no qual a largura da abertura foi aumentada aplicando-se uma leve pressão sobre as bordas da tampa. Na parte superior da figura vemos o padrão de difração de um fio de cabelo com espessura comparável a das fendas utilizadas para obter os outros dois padrões.

Na parte superior da figura 4 é mostrado o padrão de difração obtido quando colocamos um fio fino, no caso um fio de cabelo em frente ao feixe do laser. A figura de difração que obtemos demonstra o princípio de Babinet, enunciado pelo físico francês Jacques Babinet (1794 – 1872), pelo qual os padrões de difração gerados por figuras geométricas complementares serão iguais a menos da região de incidência direta do feixe de laser. No nosso caso um fio e uma fenda de mesma espessura são figuras complementares. Podemos determinar a espessura do fio utilizando o mesmo procedimento utilizado para determinar a largura de uma fenda simples. Observe que na obtenção do padrão de difração do fio fino, mostrado na figura 4 o feixe do laser não foi ampliado com o uso de lentes, como no caso do padrão de difração produzido por um fio grosso, como mostrado na figura 1. Na figura 4, de difração do fio fino, a sombra do fio está ofuscada pela intensa luz do feixe do laser, que satura a imagem na região central da figura de difração.

CONCLUSÃO

Neste trabalho discutimos as dificuldades dos professores do Ensino Médio no tratamento dos fenômenos ópticos que envolvem difração, a despeito da importância destes fenômenos no nosso cotidiano. Mostramos que a realização de demonstrações experimentais dos fenômenos envolvendo a difração é plenamente acessível a qualquer um de nós utilizando componentes de baixíssimo custo encontrado no nosso dia a dia.

Este trabalho teve apoio da CAPES, UFRGS, CREF e MPEF

REFERÊNCIAS

- ARAGO, D-S-J. 1819, Extraído da Biografia em <http://www-history.mcs.st-and.ac.uk/history/Biographies/Fresnel.html> (conferido em 05/10/2006), traduzido pelos autores destes artigo.
- CAVALCANTE, M. A.; JARDIM, V.; BARROS, J. A. *Inserção de Física Moderna no Ensino Médio: Difração de um Feixe Laser*. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, V. 16, nº 2, p. 154-169, 1999.
- CATELLI, F. *Projeção de espectros com CD e retrprojetor*. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 16, n. 1, p. 123-126, 1999.
- CATELLI, F.; VICENZI, S. *Laboratório Caseiro: Transformando um Laser de Diodo para Experimentos de Óptica Física*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, V. 19, nº 3, p. 393-406, 2002.
- CATELLI, F.; PEZZINI, S. *Observando espectros luminosos- espectroscópio portátil*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, V. 21 –Edição Especial, p. 339-343, 2004.
- DÜCHTING, H. *Georges Seurat*, Germany: Taschen, 2000. Tradução Portuguesa: Ana Pereira, Lisboa.
- FERRAZ NETTO, L., *Espectroscópio: Fundamentos e construção*. Feira de Ciências, em http://www.feiradeciencias.com.br/sala09/09_21.asp (verificado em 05/10/2006).
- GALLI, C.; SALAMI, M. A. *Laboratório Caseiro: Registros de Figuras de Difração da Luz em Papel Fotográfico*. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, V. 16, nº 2, p. 154-169, 1999.
- GASPAR, A. *Física – Série Brasil – Ensino Médio – Volume Único*. 1º Edição, São Paulo – 2004. Editora Ática.
- NAVE, C. R. *Hyperphysics*, em <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html> (verificado em 05/10/2006).
- NUSSENZVEIG, M. H. *Curso de Física Básica 4 – Ótica, Relatividade e Física Quântica*. 2º Edição, São Paulo – 1998. Editora Edgar Blücher Ltda
- PHYSICS WORLD, IOP, The double-slit experiment, *Editorial: September 2002*, Pág. 15. Em <http://physicsweb.org/articles/world/15/9/1> (Verificado em 07/10/2006).
- PITORESCO: A arte dos Grandes Mestres, <http://www.pitoresco.com.br/index.htm> (verificado em 07/10/2006)
- RODRIGUES, T.; REQUEIJO, F.; CARETTA, C.A. *Experimento: Ver para crer Construa você mesmo um incrível instrumento para separar a luz em cores!* Ciência Hoje das Crianças **137**, julho 2003, on-line em <http://ich.unito.com.br/view/1989> (verificado em 05/10/2006).
- SCHEIDER, W. *Do the "Double Slit" experiment the way it was originally done*, *The Physics Teacher* 24 217-219, 1986, versão on-line em <http://www.cavendishscience.org/phys/tyoung/tyoung.htm>, (verificado em 05/10/2006).

YOUNG, T. (a) *Inferência argumentativa sobre a natureza da luz, Bakerian Lecture*, Phil. Trans. Royal Soc. 94 (1804) e *Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts*, 1807; Traduzido por Ildeu de Castro Moreira. Disponível no site: <http://omnis.if.ufrj.br/~ladif/extensao/> (verificado em 05/10/2006).

YOUNG, T. (b) *The Bakerian Lecture: Experiments and Calculations Relative to Physical Optics*, Phil. Trans. Royal Soc. 94 (1804), pp. 1-16 and *Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts*, 1807; The Young article is reprinted in Morris Shamos, ed., "Great Experiments in Physics" p96-101, Holt Reinhart and Winston, New York, 1959.

WIKIPEDIA, A enciclopédia livre. <http://en.wikipedia.org/wiki/Portal:Physics> (verificado em 07/10/2006).

ANEXO C

TRANSFORMANDO UM LASER DE DIODO PARA EXPERIMENTOS DE ÓPTICA FÍSICA*

Francisco Catelli

Scheila Vicenzi

Departamento de Física e Química – Universidade de Caxias do Sul
Caxias do Sul – RS

Resumo

O laser de diodo “tipo chaveiro” está cada vez mais presente nas experiências realizadas nas aulas de Física. É um instrumento barato e fácil de ser encontrado no mercado, além de se constituir em uma excelente fonte de luz: intensa, colimada e bastante monocromática. Para transformá-lo em uma ferramenta de laboratório para o ensino de Física, dois problemas devem ser resolvidos: a pouca durabilidade das pilhas originais e um dispositivo que mantenha a chave sempre ligada. Neste trabalho esses problemas são resolvidos de maneira simples, eficiente e barata; são também fornecidos exemplos de experimentos diversos na área de óptica física, a qual nos parece menos explorada do ponto de vista experimental.

Palavras-chave: *Óptica física, ensino de Física, laser de diodo.*

I. Introdução

Todo professor de Física que já tentou colimar luz, animado pelos mais diversos propósitos, certamente terá se maravilhado com as variadas possibilidades que a luz do laser apresenta. A empolgação deverá ter aumentado ainda mais ao notar que os lasers de diodo tornaram-se extremamente populares e, principalmente, muito baratos. Daí a pensar em utilizá-los em aulas experimentais de óptica é um pequeno passo. Mas, para tornar tudo mais interessante, surgem alguns problemas. O primeiro: as baterias, semelhantes às de relógio, acabam muito depressa¹. Além do incômodo, isso afeta, é claro, o custo de operação do laser. Depois, a pequena chave dos lasers de diodo “tipo chaveiro” (são os mais baratos) deve ser mantida pressionada para que eles funcionem. A empolgação corre o risco de virar irritação quando queremos, por exemplo, observar o espectro de difração da luz do laser que incide em um fio de cabelo –tente fazer isso sem “errar o alvo”, nem tremer a mão que mantém a chave ligada.

Descrevemos, a seguir, como resolver isso de maneira simples, barata e eficiente e, em seguida, mostramos como alguns experimentos de óptica física podem ser realizados com esse material.

* Publicado no Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 19, n. 3, dez. 2002.

II. Uma alimentação mais durável

As três pilhas originais do laser “tipo chaveiro” podem ser substituídas pelas que encontramos nos mercados em três tamanhos diferentes: pequena (“AA”), média (“C”) e grande (“D”). É claro que, quanto maior a pilha, maior o tempo que ela dura. Em princípio, pensávamos que a resistência interna das pilhas influiria na corrente de funcionamento do laser, entretanto, tal não é o caso. O laser chaveiro foi posto a funcionar com quatro alimentações diferentes: três baterias originais (novas), três pequenas, três médias e, finalmente, três grandes. Em todos os casos, a corrente foi medida e ficou sempre em torno de 42mA, com uma variação inferior a 1 mA, para mais ou para menos. Ficamos curiosos para saber qual é a resistência interna de uma bateria de laser; ao medi-la, encontramos um valor de 5Ω . Já uma bateria do tipo AA possui uma resistência interna bem menor: $0,86\Omega$. Certamente a corrente se mantém constante em todos os casos por conta do circuito eletrônico que controla o diodo laser. Para verificar se o uso de pilhas diferentes das originais afetava o comportamento e a durabilidade do laser, mantivemos um mesmo protótipo ligado durante aproximadamente doze horas, continuamente, em três ocasiões distintas, e não foi detectado nenhum problema de funcionamento ou superaquecimento.

Então, como adaptar de maneira simples uma alimentação, que permita um funcionamento contínuo do laser durante um longo tempo?

Você precisará de um soquete para três pilhas (as do tipo AA duram bastante e permitem uma montagem mais compacta), três pilhas, duas garras (“tipo jacaré”, pequenas e com isolamento elétrico), uma base de cerca de cinco cm de largura por dez centímetros de comprimento (uma pequena tábua ou uma caixa de fita cassete, por exemplo), fita isolante, uma faca e um alicate pequeno.

Abra o laser chaveiro e retire as pilhas originais. Desencape aproximadamente um centímetro da ponta dos fios vermelho e preto do soquete (sem as pilhas) e fixe as garras-jacaré em cada um deles. Tire a capa isolante da garra-jacaré e introduza nela o fio; passe a ponta desencapada pelo orifício da base da garra e prenda-o através das pequenas abas de metal dobrando-as, uma por vez, sobre a ponta desencapada, com auxílio do alicate. Aperte bem, para garantir um bom contato elétrico. Recoloque a capa isolante. Execute o mesmo procedimento para a outra garra. (É claro que o uso de solda do tipo estanho dá um resultado “mais profissional”, mas estamos buscando aqui justamente as soluções simples, que exijam menos ferramentas e habilidades prévias.) A seguir, com a garra-jacaré do fio preto – pólo negativo – prenda a mola no interior do laser, lá aonde vão as pilhas originais; o jacaré vermelho – o pólo positivo – segura o corpo do laser, como na Fig. 1b. Coloque as pilhas no soquete, mantendo a polaridade correta e... pronto! O problema da durabilidade das baterias está resolvido! Se quiser, use a fita isolante para prender o soquete das pilhas e o laser na base mencionada acima.

Para manter o laser ligado sem ter que ficar pressionando a chave, basta passar um pedaço de fita isolante bem apertado em volta desta, ou utilize um prendedor de roupa que, além de manter o laser ligado, evitará que este role sobre a superfície de apoio, caso não seja usada nenhuma base para ele.

III. Alguns exemplos de experimentos com o laser de diodo

Tendo adaptado o laser, este pode ser usado em belas e impressionantes demonstrações de fenômenos de óptica, tanto geométricaⁱⁱ quanto físicaⁱⁱⁱ. E mais, com alguma teoria, poderemos fazer dele um instrumento de medida realmente impressionante. Será possível medir o diâmetro de fios, a abertura de fendas e pequenos orifícios, o número de linhas de CDs, o número de linhas em fitas de controle dos cartuchos de algumas impressoras jato de tinta, telas de serigrafia e outras “façanhas” que você mesmo poderá inventar. Porém, para que seja possível efetuar essas medidas com maior precisão será necessário conhecer o comprimento de onda (λ) do laser. Descrevemos a seguir uma maneira de fazê-lo. Havendo pouca disponibilidade de tempo em sala de aula, você poderá ir direto às aplicações, deixando de lado esse item. Neste caso, use um valor médio para o comprimento de onda do laser de diodo (sugerimos o valor de 0,00065 mm, que é o resultado de uma média das medidas com mais de vinte lasers). Os resultados serão, de qualquer maneira, surpreendentemente acurados.

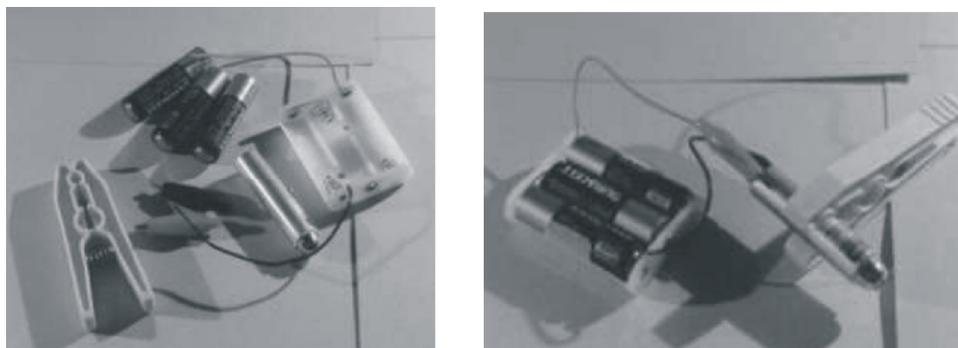


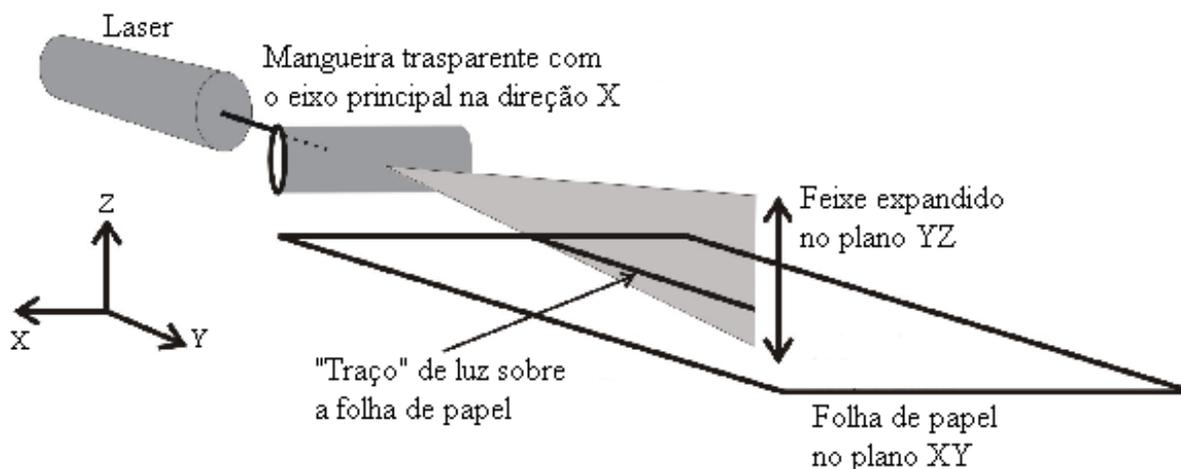
Fig. 1(a) - Material utilizado para montagem do laser: pilhas, garras-jacaré e soquete de pilhas. (b) O laser montado, mantido ligado com um prendedor de roupa.

III.1 Medida do comprimento de onda do laser de diodo

Um laser de diodo pode se transformar em um autêntico “micrômetro de luz”. Basta que seu comprimento de onda λ seja conhecido com uma incerteza razoavelmente pequena. Esse valor é, em geral, informado pelo fabricante, porém dentro de uma faixa larga demais, por exemplo, de 630 nm a 680 nm. A técnica descrita a seguir, além de levar a um valor de λ com uma incerteza menor^{iv}, permite a abordagem em aula de vários conceitos da óptica ondulatória. Como nossa meta é a de sugerir ao leitor uma montagem com material acessível e de baixo custo, utilizaremos um CD como rede de difração. Precisamos,

entretanto, de um dado preliminar: o espaçamento entre as linhas do CD. São aproximadamente 630 linhas por milímetro^v, para CDs de 74 minutos de duração e 650 MB. (Os CDs de 80 minutos de duração terão um número maior de linhas por milímetro; os estudantes poderão checar isto se quiserem). Para chegar a este valor, medimos cerca de 20 CD's, de diversos tipos, todos com 74 min de duração ou 650MB de capacidade de armazenamento.

Para a execução da medida, o material necessário será o laser, montado como descrito anteriormente, mas com um recurso a mais: posicione, na saída do feixe de luz e transversalmente a este, um pedaço de mangueira transparente de uns três centímetros de comprimento por 1,2 cm de diâmetro externo (veja a Fig. 2). Uma alternativa simples e eficiente é usar massa de modelar para posicionar e fixar a mangueira, dessa forma, ao colocar o laser (munido desta que é na verdade uma lente cilíndrica) sobre um papel branco, formar-se-á sobre este um traço luminoso, estreito e visível, mesmo com luz ambiente. É claro que o ideal é dispor de uma sala que possa ser, pelo menos, moderadamente escurecida.



com um tubo de mangueira transparente.

O elemento físico dispersor de luz aqui será um pedaço de CD, funcionado como uma rede de difração por reflexão. Corte antes o CD em oito pedaços iguais. Uma maneira simples de fazê-lo é riscando-o ao meio com um estilete e uma régua, e em seguida quebrando-o. É importante riscar o CD nos dois lados para que a quebra seja bem feita. Repita o procedimento para uma das metades e, finalmente, quebre ao meio um dos quartos do CD obtidos como descrito. (Tome cuidado para não se ferir ao manusear o estilete e ao quebrar o CD. É uma boa idéia usar luvas de borracha e óculos, que protegerão os olhos de eventuais estilhaços). A rede de difração está pronta!

Observe um efeito muito interessante: ao fazer incidir o feixe de laser sobre o pedaço de CD é possível notar uma reflexão, como se este fosse um espelho; é o “feixe principal” na Fig. 3. Mas, além dessa reflexão, observam-se outras que na verdade não são reflexões, e sim o efeito da interferência da luz refletida pelo CD, provocado pelas marcas de

gravação (observe as difrações de primeira e segunda ordens, na Fig. 3). Precisamos medir o ângulo de um desses raios difratados em relação à reflexão principal. Para isso, é bastante prático trabalhar com uma fotocópia de um transferidor de 360°, de tamanho grande. O procedimento é o seguinte:

a) Alinhe o feixe de luz do laser (munido da “lente cilíndrica” descrita acima) sobre as marcas 180° - 0° do transferidor (veja Fig. 3).

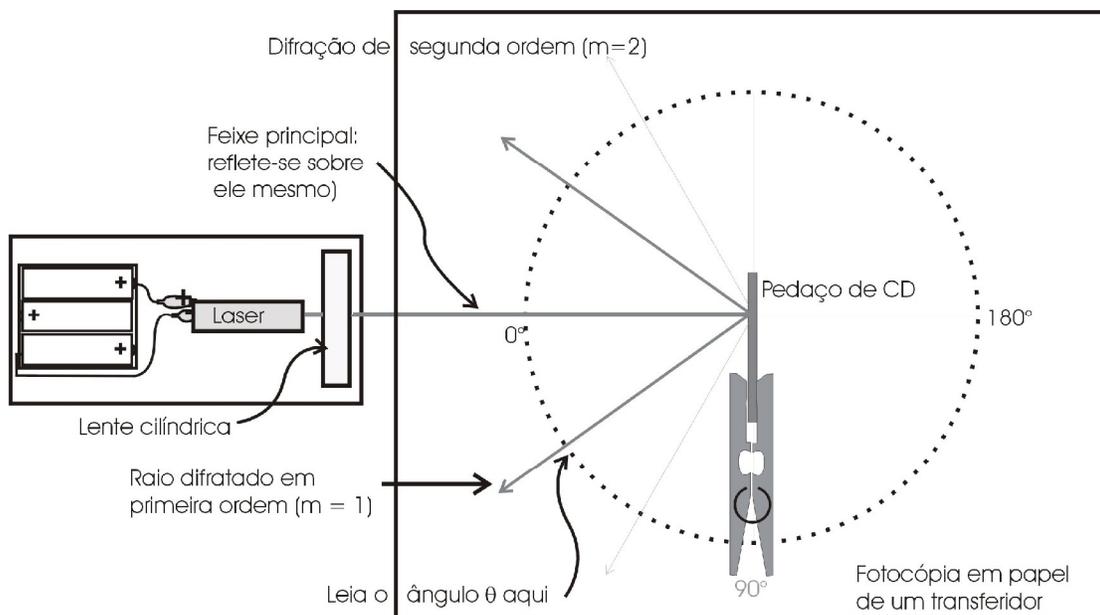


Fig. 3 - Montagem para a medição do comprimento de onda do laser de diodo, usando como elemento dispersor um pedaço de CD de 650 MB.

b) Alinhe o pedaço de CD (use um grampo prendedor de roupa) bem no centro do transferidor, de modo que a luz refletida volte pelo mesmo caminho da luz incidente. Leia agora o ângulo θ (tanto à esquerda como à direita do feixe principal, o ângulo é o mesmo) e anote-o: ele será usado para o cálculo a seguir (note que o “m” da equação é igual a 1).

Finalmente, o cálculo do comprimento de onda será realizado através da conhecida expressão^{vi}:

$$m \lambda = d \operatorname{sen} \theta,$$

com $m = 1$ (se for tomada a primeira ordem) e $d = (1/630 \text{ mm})$. Para não alongar excessivamente este artigo, não trataremos aqui da teoria que respalda a física da interferência e da difração. Considerando que a interferência da luz é um conceito fundamental a ser explorado, sugerimos a leitura do interessantíssimo artigo de David Chandler, no qual a interferência de ondas pode ser materializada numa atividade no estilo oficina, em sala de aula^{vii}.

Note que o comprimento de onda varia de um laser de diodo para outro, mas se mantém bastante estável durante toda a vida útil de um mesmo laser. A título de exemplo, o ângulo θ obtido na medição de um dos lasers foi de $24,5^\circ$, o que resultou num comprimento de onda de $0,00066$ mm ou 660 nanômetros (660 nm). Outras duas medidas realizadas com outros dois lasers resultaram nos valores de 640 nm e, novamente, 660 nm, respectivamente.

Bem, agora é só colocar uma etiqueta no laser medido, e transformá-lo, como dizíamos acima, em um excelente “micrômetro de luz!” Veja a seguir alguns exemplos de como ele funciona:

III.2 Difração em fios

O procedimento descrito permitirá calcular o diâmetro de um fio de cabelo, nylon, cobre ou outro que você desejar. O ideal são fios de menos de $0,5$ mm de diâmetro, já que os mais espessos produzem espectros de difração difíceis de se tratar em laboratório. No entanto, a difração em fios de grande diâmetro propicia um efeito visual sensacional: quando um estudante colocou um pedaço do fio de nylon, usado como a primeira corda de um violão, sob a luz de um laser, a figura de difração pôde ser percebida praticamente em um raio de 180° ! Se a finalidade fosse a de obter valores numéricos de qualidade, essa não teria sido uma boa idéia, já que é quase impossível distinguir claramente um máximo do outro. Mas, como demonstração qualitativa, foi um sucesso! (Se você for tentar essa demonstração, lembre de fazê-la em uma sala bem escura.)

Voltemos aos cálculos: posicione o laser de forma que o feixe incida no fio que você escolheu (um fio de cabelo, por exemplo) paralelamente ao plano da mesa. Você observará diversos pontos claros na parede (“máximos”); os mínimos são as regiões escuras entre um máximo e o seguinte.

Faremos uso novamente da equação $m\lambda = a \sin\theta$, com a diferença que agora marcaremos os mínimos ao invés dos máximos. Escolha um mínimo bem visível, por exemplo, o terceiro (neste caso, $m = 3$). A metade da distância entre o terceiro mínimo à esquerda e o terceiro mínimo à direita será o cateto oposto (Y) de um triângulo retângulo. O cateto adjacente (X) é medido do fio de cabelo até o centro do máximo central. Desta vez, no lugar de uma leitura direta no transferidor, o ângulo será calculado a partir das medidas do cateto oposto e do cateto adjacente:

$$\theta = \arctan (Y/X)^{\text{viii}}.$$

É claro que, para que o triângulo seja realmente retângulo, o feixe principal deverá formar com o anteparo um ângulo de 90° . O ajuste pode ser feito posicionando um espelho plano encostado no anteparo e forçando o raio refletido a retornar na mesma direção do raio incidente (um CD servirá como um excelente espelho plano improvisado para esse fim). Nessas condições, o anteparo estará a 90° em relação ao feixe de laser.

O diâmetro calculado dos fios poderá ser comparado à medida feita com um “instrumento oficial”: um micrômetro, se estiver disponível. No entanto, tome cuidado com os fios de cabelo: ao medi-los com o micrômetro, ocorrerá invariavelmente um esmagamento. Ou seja, a medida com o laser levará a um valor maior do diâmetro, quando comparado ao do micrômetro. Como não há esmagamento, o resultado obtido com o laser é melhor, mais próximo do valor real. Se você quiser evitar esse efeito, o melhor será usar um fio fino de cobre. É fácil obtê-los: desencape um pedaço de uns 5 cm de um cabo elétrico flexível e use apenas um dos finos fios que o compõem^{ix}.

Quer ver qual o efeito dos fios serem mais grossos ou mais finos? Experimente usar um bigode de gato^x. Variando a posição do bigode na qual o raio incide, o padrão de difração mudará, já que muda o diâmetro do fio. De fato, a técnica de medida por difração é tão sensível que uma estudante conseguiu detectar pequenas variações no diâmetro de um longo fio de cabelo: como seria de esperar, a ponta é ligeiramente mais fina que a base.

III. 3 Difração em fendas

É curioso, mas o procedimento para a medida da largura de uma fenda estreita é rigorosamente o mesmo que o do fio (“princípio de Babinet”). Comece construindo uma: use as duas metades de uma lâmina de barbear colando-as com fita adesiva numa moldura de diapositivo. Os dois fios das metades das lâminas deverão formar uma fenda de 0,5mm (ou menos) de largura. Tome cuidado para que a fenda tenha mais ou menos a mesma largura em toda a sua extensão. Daí em diante, os passos são os mesmos: os mínimos de difração aparecerão nas mesmas posições em que seriam encontrados se, ao invés da fenda de largura “a”, lá estivesse um fio também de diâmetro “a”.

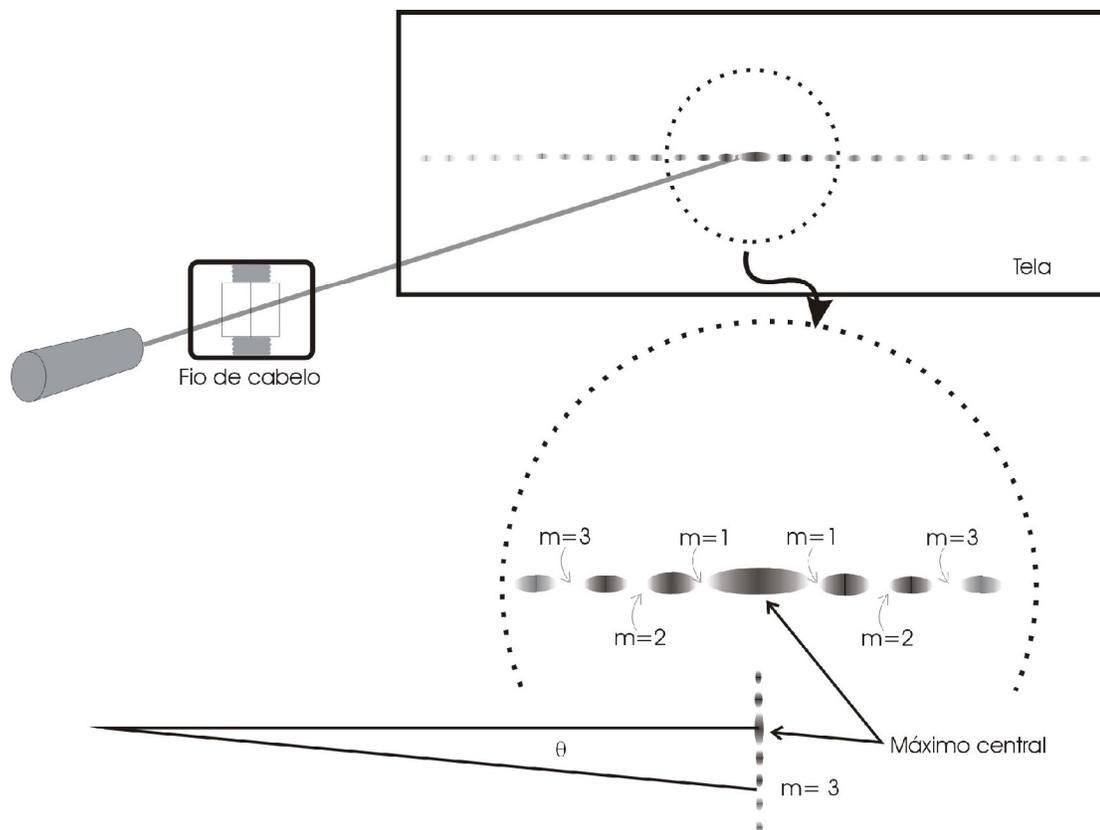


Fig. 3 - Padrão de difração de um fio de cabelo. (O desenho não está em escala). Na região ampliada, são destacados os mínimos de ordem $m=1, 2$ e 3 , tanto à esquerda quanto à direita do máximo central, mais largo.

Se houver um paquímetro à disposição, será possível ajustar uma fenda com ele: tente uma de uns $0,3$ mm, e faça o feixe de laser incidir na extremidade de medição, que é de menor espessura. A vantagem desse procedimento é a de poder comparar o resultado obtido através um cálculo com o que foi ajustado no instrumento.

Brian Houser^{xi} descreve um experimento muito interessante com uma fenda: esta é colocada no centro de um reservatório circular; nota-se que a distância entre os mínimos diminui quando água é colocada nele. A razão da distância entre os mínimos no ar e na água fornece, com boa aproximação, o índice de refração desta última.

III.4 Difração em orifícios

Começemos construindo um orifício circular. Pressione levemente e gire simultaneamente a ponta de uma agulha apoiada num pedaço de papel alumínio. Observe o pequeno orifício: você faz idéia do valor de seu diâmetro? Que tal calcular? Então, vamos lá: Incida o feixe de laser no orifício; no anteparo você verá uma figura de difração muito

interessante, um disco luminoso com anéis claros em sua volta. Meça a distância entre o orifício e o centro da figura de interferência no anteparo; este será o cateto adjacente. Em seguida, meça a distância do centro da figura de interferência até qualquer ponto do primeiro anel escuro (primeiro mínimo); este será o cateto oposto. Em outras palavras, o cateto oposto é o raio do primeiro anel escuro do espectro (veja a Fig. 4). Com esses dois catetos, o ângulo θ_R pode ser calculado. (Se o diâmetro do orifício for da ordem de 1 mm, os anéis de difração não serão tão visíveis. É melhor trabalhar com orifícios menores, 0,1 mm ou 0,2 mm, por exemplo; use o anteparo a uma distância de uns 80 cm.)

A equação $\theta R = 1,22 \lambda D^{xii}$ permitirá a obtenção do valor do diâmetro “D” do orifício. Um projeto interessante poderá ser o de tentar medir o diâmetro dos orifícios de um cartucho vazio de uma impressora jato de tinta. Ou então, simplesmente curta o bizarro espectro que tentamos ilustrar na Fig. 4. Ao vivo, ele é muito mais interessante.

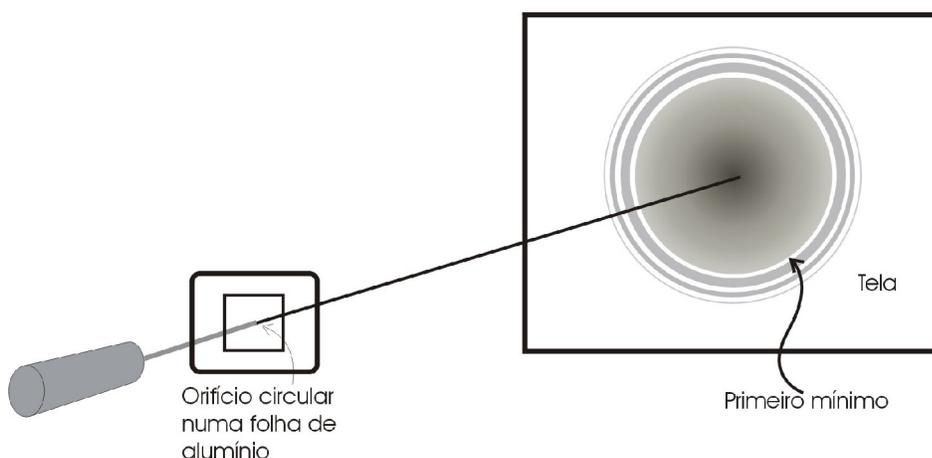


Fig. 4 - Difração em um orifício circular. O desenho está fora de escala. O padrão de interferência, devido à pouca luz que atravessa o pequeno orifício, só pode ser visualizado confortavelmente em um ambiente escuro.

III.5 Número de fios em telas de serigrafia, discos de vinil, CDs, penas de galinha...

As belas cores que você vê ao olhar para uma asa de borboleta, ou para a superfície de um CD são devidas aos fenômenos de interferência e difração da luz, tratados neste trabalho. Invariavelmente, o padrão de linhas ou fios é o responsável por esse belo efeito, e o nosso “micrômetro de luz” novamente poderá ser útil como instrumento de medida. Começemos com a tela de serigrafia^{xiii}: o método que nos levou ao cálculo do comprimento de onda do laser é igual ao que permitirá o cálculo da distância entre as linhas de uma tela. A diferença é que, desta vez, não será necessário o uso da lente cilíndrica (mangueira), e a luz analisada é a que atravessa a tela. O espectro obtido é muito curioso. Veja a Fig. 5.

Não discutiremos os detalhes dessa interessante figura de difração, há de fato muita física aí! Para os nossos propósitos, basta o que segue: a distância Y entre dois pontos luminosos vizinhos, conjuntamente com a distância X (Fig. 5) permite o cálculo do ângulo θ , da mesma maneira descrita anteriormente ($\theta = \text{arc tan } Y/X$, etc.).

Como λ já é conhecido, será necessário apenas usar novamente a equação: $m\lambda = d \text{ sen } \theta$. A distância entre os fios da tela, que é o que queremos medir, é “ d ”; se usarmos a Fig. 5 como referência, “ m ” será igual a 1. Note que, apesar de a aparência da fórmula ser a mesma, neste caso (e em todos em que são usadas múltiplas linhas ou fendas) são levados em conta os máximos de luz. No caso de uma fenda única, fio ou orifício, vale a mesma fórmula (com “ a ” no lugar de “ d ”), porém os mínimos de luz é que são considerados, como pode ser visualizado, por exemplo, na Fig. 3.

Exatamente o mesmo procedimento vale para a determinação da distância entre os “fios” que compõem a pena de uma galinha. Outra opção interessante é a determinação da distância “ d ” para os traços da fita de posicionamento das impressoras HP®: você poderá obter uma dessas fitas, fora de uso, em uma oficina de conserto.

Uma maneira muito interessante de verificar se o resultado dos cálculos, via difração, é plausível consiste em projetar a tela de serigrafia e medir diretamente com uma régua a distância entre dois fios^{xiv}, na tela de projeção. Em seguida, substitua a tela de serigrafia do projetor por um pedaço de régua transparente. Meça agora o comprimento de 1 cm diretamente sobre a tela de projeção. Se você encontrou, por exemplo, 56 cm, significa que o projetor, nas condições em que você o está usando, dá uma ampliação de 56 vezes. Então, divida o valor da distância entre dois fios que você mediu na tela de projeção por 56 e compare com o resultado de seu “micrômetro de luz”. Faça esse procedimento com cuidado, e você se surpreenderá com a semelhança dos números obtidos pelos dois processos.

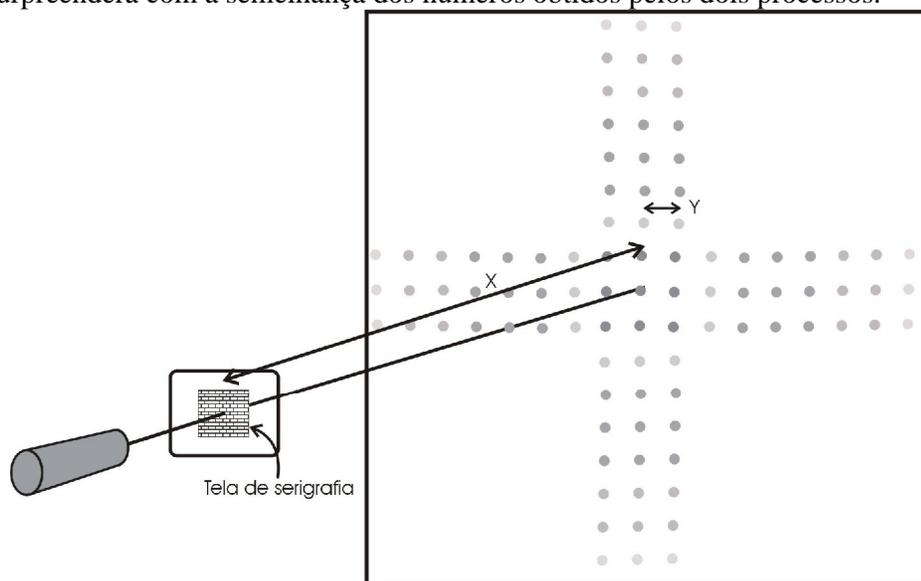


Fig. 5 - Difração produzida por uma tela de serigrafia (também fora de escala).

A medida do número de linhas em um CD também pode ser feita: nesse caso, precisamos trabalhar com os raios refletidos. O procedimento é aquele descrito na medida do comprimento de onda do laser de diodo. Devido ao fato de os ângulos envolvidos serem muito maiores, o uso de um transferidor simplifica bastante a rotina de medida (neste caso, não use a aproximação $\text{sen } \theta \approx \text{tan } \theta = Y/X$). Os antigos discos de vinil também podem ter seu número de linhas por milímetro medido da mesma forma.

IV. Conclusões

Todos os projetos de medição sugeridos foram testados com alunos do ensino médio, e também em cursos de aperfeiçoamento para professores de Física. Os resultados foram sempre bastante animadores, em boa parte devido à novidade do assunto, e também em função da facilidade de “inventar” novos projetos e aplicações. O laser de diodo é uma ferramenta fantástica, e deveríamos usá-la mais em aula. A óptica ondulatória é realmente fascinante, e seria uma pena não envolver pelo menos uma vez os alunos com este tipo de projeto. Outras atividades ligadas à interferência, difração, espectroscopia, e física moderna já foram sugeridas em revistas especializadas^{xv}, de modo que há farto material disponível para aqueles que se interessarem pelo assunto.

Finalmente, uma opção interessante é a de utilizar em aula não apenas projetos que envolvam cálculos e fórmulas, mas também atividades do tipo oficina, em que os estudantes construam e adaptem material e façam com ele, eventualmente, apenas observações qualitativas. De toda a sorte, parece mesmo que o que mais marca os estudantes são mesmo os fenômenos que emanam dos experimentos; eles são invariavelmente curiosos, provocantes, inesperados. Não conseguimos repetir uma vez sequer as atividades aqui descritas sem que idéias diferentes, novos problemas e desafios originais entrassem em cena. E, assim sendo, o risco de monotonia está praticamente descartado. Vamos tentar?

ⁱ Há modelos de lasers que utilizam baterias AA, mais duráveis, sendo, porém, mais caros. Outros, projetados para uso em laboratório de física, possuem fonte de alimentação regulada com conexão à rede, dispositivos mecânicos de orientação e outros recursos. Em contrapartida, o acréscimo no custo e às dificuldades de importação tornam esses instrumentos praticamente inacessíveis às escolas de nível médio.

ⁱⁱ Já existem conjuntos comerciais para o estudo de óptica geométrica, em especial espelhos, lentes e prismas, que fazem uso de lasers de diodo como fontes de luz. Um exemplo de um desses equipamentos é o produzido pela firma CIDEPE, de Canoas, RS (CIDEPE@CIDEPE.com.br).

ⁱⁱⁱ Optamos por descrever aplicações de óptica física, visto que são menos frequentes na literatura especializada.

^{iv} Este é um bom momento para (re)tomar a idéia de incerteza dos valores numéricos que atribuímos às grandezas físicas; entretanto, é um pouco utópico pretender trabalhar com os estudantes do ensino médio a propagação de erros com algum detalhe, não porque seja um assunto excessivamente complicado, mas, principalmente, devido a escassez de tempo. Caso o leitor queira mais detalhes, sugerimos:

ROBERTS, D. Errors, discrepancies and the nature of Physics. **The Physics Teacher**, v. 21, n. 3, p. 155, 1983.

Nesse artigo, a abordagem do assunto é perfeitamente compatível com o nível de ensino médio; a idéia básica é somar as incertezas absolutas quando se trata de somas e subtrações, e somar incertezas relativas quando se trata de produtos ou divisões. Na óptica física, surge a dificuldade adicional de trabalhar com senos. Entretanto, no caso da difração em fendas, fios e orifícios, a abordagem sugerida por Roberts poderia ser aplicada à equação simplificada ($\sin\theta \approx \theta \approx Y/X$).

^v Chegamos a esse valor por um procedimento inverso ao que estamos descrevendo: partimos de um laser de HeNe, de comprimento de onda conhecido (632,8 nm) e determinamos a “constante de rede” do CD. Medições realizadas em várias dezenas de CDs, todos de 650 Mbytes e 74 minutos de duração, levaram a valores iguais, dentro das incertezas de medida.

^{vi} Veja, por exemplo, HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**. v. 4, seção 41-7, Fendas Múltiplas. Editora Livros Técnicos Científicos, 1996.

^{vii} CHANDLER, D. Simulate interference... while supplies last. **The Physics Teacher**, v. 39, p. 362-363, 2001. Podemos fornecer, por e-mail, a tradução deste artigo a quem estiver interessado.

^{viii} Como, nos experimentos com fios, os ângulos são invariavelmente pequenos, a aproximação $\sin\theta \approx \tan\theta \approx \theta \approx Y/X$ dará sempre excelentes resultados. Se for usada a aproximação, a fórmula de cálculo será simplesmente $m\lambda = d*Y/X$.

^{ix} Os fabricantes de cordas de guitarra de boa qualidade fornecem o diâmetro destas em polegadas. Uma primeira de um encordoamento de aço fornece um excelente fio, já calibrado para essa experiência. A título de exemplo, a primeira do encordoamento leve Fender mede 0,009 polegadas de diâmetro, ou 0,23mm.

^x GREENSLADE JR., T. B. Difração em um bigode de gato. **The Physics Teacher**, v. 38, p. 422, 2000. Tradução livre de Francisco Catelli e Simone Pezzini.

^{xi} Demonstrando a diminuição do comprimento de onda da luz na água. Brian Houser, Departamento de Física, MS-68, Eastern Washington University, Cheney, WA; **The Physics Teacher**, v. 39, 2001. Tradução livre de Francisco Catelli, Carine dos Reis e Scheila Vicenzi.

^{xii} A equação foi extraída do Catálogo Edmund Scientific, 1999. Disponível em:

<www.edmundoptics.com>

^{xiii} Telas de serigrafia podem ser adquiridas em lojas de material de desenho. Peça uma tela de nylon de 180 fios; seu custo aproximado é de R\$ 20,00 por uma tira de $(10 \times 100) \text{cm}^2$.

^{xiv} Melhor: meça a distância entre, por exemplo, dez linhas, e divida o resultado por dez. Para evitar enganos, proceda assim: marque com uma lapiseira fina o meio da primeira linha e conte “zero”, continue contando as linhas, e ao chegar à décima, marque o meio dela. Em seguida, faça a medida da distância entre as duas marcas com uma régua e divida o resultado por dez.

^{xv} CATELLI, F.; VICENZI, S. Laboratório Caseiro: Interferômetro de Michelson. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 18, n. 1, p.108-116, 2001.

CATELLI, F. Demonstre em Aula: Projeção de Espectros com um CD e Retroprojektor. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 16, n. 1, p.123-126, 1999.

CATELLI, F.; PEZZINI, S. Laboratório Caseiro: Observando espectros luminosos - espectroscópio portátil. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 2, p.264-2

ANEXO D

LABORATÓRIO CASEIRO: INTERFERÔMETRO DE MICHELSON

Resumo: *É descrito o material e os detalhes da montagem de um interferômetro de Michelson de baixo custo. A fonte de luz é um laser de diodo ("laser pointer"), o divisor de feixe consiste de uma lâmina espessa de acrílico ou vidro, e os espelhos de primeira face são improvisados com lentes de óculos de sol, cuja convexidade elimina a utilização da lente expansora. O posicionamento dos "espelhos" é feito com massa de modelar, e as vibrações mecânicas são evitadas montando o sistema sobre uma laje de pedra. Um escurecimento moderado da sala é suficiente, já que as franjas de interferência apresentam bom contraste.*

Introdução: Há pelo menos duas fortes razões para motivar o estudante que interage com o dispositivo experimental conhecido pelo nome de "Interferômetro de Michelson". A primeira delas surge ao tomar contato com as idéiasⁱ que levaram Michelson e Morley a executar, no final do século XIX, seus hoje famosos experimentos. Sem entrar em detalhesⁱⁱ, a meta de ambos era a determinação da diferença entre dois tempos de percurso de um feixe de luz. No primeiro, a direção e sentido de propagação coincidia com a direção e sentido da velocidade orbital da Terra em relação a um meio no qual esta (e os demais corpos celestes) estaria imersa, o "éter". No segundo, tratava-se do mesmo percurso, percorrido pela luz desta vez de modo perpendicular à direção do movimento da Terra. A diferença entre estes tempos resultava, previa-se, das diferentes velocidades nos dois casos. Como é sabido, esta diferença não foi encontrada. Uma explicação fascinante para este resultado insólito é a de que, no mundo das velocidades próximas à da luz, a soma destas não se dá da maneira usual. Por exemplo, designando "C" à velocidade da luz no espaço vazio, $C + C$ não é, como prevê o senso comum, igual a $2C$, e sim $C + C = C$! Os estudantes certamente encantar-se-ão com esta "matemática" bizarra. (É claro que a decisão de aprofundar mais o assunto depende de cada situação, mas estará garantido de qualquer modo o nascimento de uma curiosidade no estudante que não se extinguirá tão cedo). Uma consequência deste experimento foi um gradual abandono da idéia de éter, numa época em que nascia a relatividade especial de Einstein.

A segunda fonte de motivação decorre da estratégia experimental estabelecida por Michelson e Morley para encontrar a diferença de tempos prevista: ocorre que, em determinadas condições, luz mais luz dá ... escuro ! Uma das montagens experimentais que levam a um encontro inesquecível com esta "álgebra" estranha de adição de feixes de luz ostenta justamente o nome de "interferômetro de Michelson", o qual descreveremos a seguir, numa versão cujo custo é muito baixo, menos de 30 Reais, e com dificuldades experimentais de pequena monta, facilmente superáveis.

Princípios básicos do interferômetro de Michelson: A idéia chave que permite compreender o interferômetro de Michelson é justamente a "álgebra estranha" acima referida. A idéia da luz como sendo uma onda é perfeitamente adequada neste contexto, e dela nos serviremos para encaminhar uma descrição simplificada deste dispositivo. As "ondas de luz", representadas na figura 1, todas de mesmo comprimento de onda, ao se sobreporem "somam-se", o que é simples de intuir ao visualizar os desenhos. Os casos extremos dizem respeito ao que é chamado de "interferência completamente construtiva" (figura 1-a) e "interferência completamente destrutiva" (figura 1-b). No primeiro caso as ondas, de mesmo comprimento,

"coincidem" perfeitamente, e a soma de ambas dá uma nova onda, idêntica, porém com o dobro da amplitude. No segundo caso, o máximo da primeira onda coincide perfeitamente com o mínimo da segunda, e a soma de ambas dá zero ! (Aqui aparecem as "determinadas condições às quais nos referíamos acima, nas quais "luz + luz = escuro !") Na figura 1 - c aparece também um caso intermediário, onde a interferência nem é completamente construtiva nem completamente destrutiva.

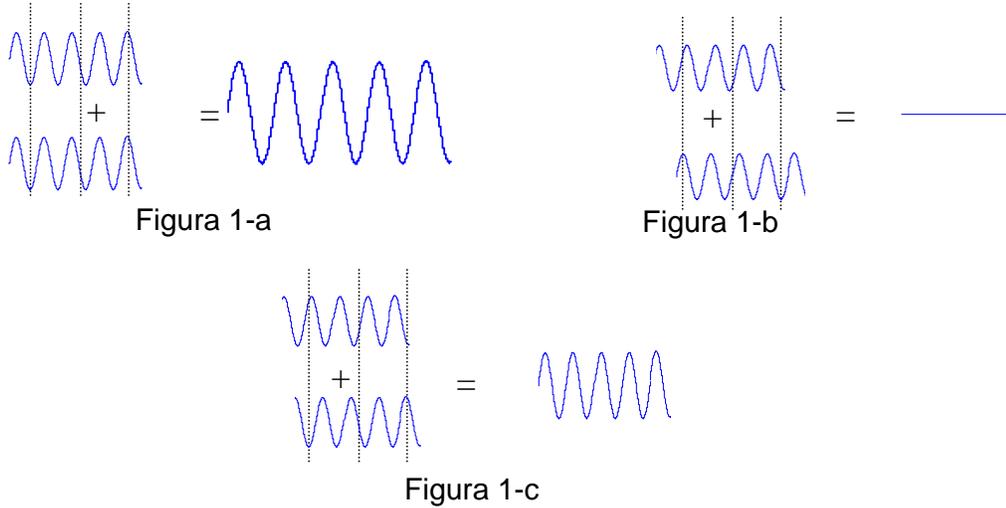


Figura 1-a: interferência completamente construtiva. Na figura 1-b a interferência é completamente destrutiva e, em 1-c, é representado um caso intermediário. A intensidade de luz resultante é máxima em 1-a, menor em 1-c e nula em 1-b.

Vamos agora a uma descrição sumária do interferômetro de Michelson. O "truque" consiste em dividir um feixe de luz em dois e, em seguida, recombiná-lo, resultando daí a interferência descrita acima. A divisão do feixe pode ser

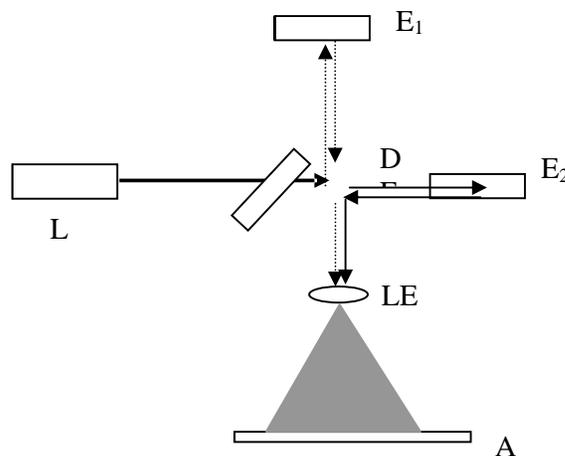


Figura 2: Vista superior (esquemática) de uma montagem clássica do interferômetro de Michelson. L é a fonte de luz, em geral um laser, DF é o divisor de feixe, E₁ e E₂ são

espelhos de primeira face (o espelhamento é feito na face que recebe diretamente a luz), LE é a lente expansora e A, a anteparo. Um dos ramos foi representado por setas pontilhadas e o outro por setas cheias, de modo que o leitor possa melhor acompanhar os caminhos da luz. Há outras reflexões internas na lâmina que não foram representadas para não sobrecarregar a figura.

concretizada a partir de uma lâmina espessa de material transparente, o divisor de feixe DF da figura 2. A recombinação dos feixes se faz reenviando-os ao divisor através de dois espelhos. Após atravessá-lo, os feixes são expandidos por uma lente (convergente ou divergente) e, ao se sobreporem, geram as "franjas de interferência" (zonas claras e escuras), as quais podem ser visualizadas num anteparo.

Construção do interferômetro: Alguns detalhes contribuem para emprestar uma certa dificuldade a esta montagem. Os espelhos de primeira face não são fáceis de obter, além de terem um custo relativamente alto. A mesma observação vale para o laser, em geral de HeNe. A fixação das peças é feita frequentemente sobre chapas ou mesas metálicas, por meio de bases magnéticas, o que aumenta ainda mais o custo. Em pelo menos um dos espelhos é empregado usualmente um dispositivo com parafusos, o qual permite o posicionamento preciso do feixe refletido, o que pressupõem ou suportes de espelho importados ou fabricados em uma oficina bem equipada. No que diz respeito à montagem, aparece uma dificuldade adicional, que é o problema da estabilidade mecânica do sistema: as vibrações devem ser evitadas, caso contrário será impossível visualizar o padrão de interferência.

A conjunção destes fatores talvez explique porque os interferômetros não são comuns em atividades de ensino de física no ensino médio, e mesmo a nível de terceiro grau. Nos parágrafos seguintes relatamos como as dificuldades acima foram todas superadas, com material de baixo custo e através de uma estratégia de posicionamento dos feixes que nos pareceu bastante simples de dominar.

Vamos a cada uma das partes do sistema: A fonte de luz, hoje extremamente comum, barata e fácil de adquirir é o laser de diodo - o modelo tipo "chaveiro"ⁱⁱⁱ pode ser encontrado até mesmo em camelôs, a partir de 15 reais. O leitor lembrará que, ao descrevermos o fenômeno da interferência das ondas de luz, falávamos em "ondas de mesmo comprimento de onda", condição que é plenamente satisfeita pelo laser diodo, o qual emite (para as finalidades aqui descritas) luz praticamente de uma cor só, luz "monocromática".

Um divisor de feixe barato e eficiente consiste em uma lâmina espessa, de acrílico ou vidro transparente. Ela pode ser obtida a partir de retalhos, junto aos instaladores de box para chuveiros, por exemplo. Nos divisores comerciais, uma das faces da lâmina é parcialmente espelhada, entretanto, a quantidade de luz refletida numa lâmina comum, sob uma incidência de aproximadamente 45°, como é o caso aqui, é perfeitamente suficiente para garantir a visualização de franjas de interferência com bom contraste. Dê preferência a lâminas mais espessas, nestas as reflexões parasitas ficam mais separadas umas das outras no anteparo, e conseqüentemente atrapalharão menos.

O problema dos espelhos de primeira face foi resolvido de maneira simples: escolha, por exemplo em lojas de "tudo por 1,99", o par de óculos de sol com as lentes mais espelhadas que você encontrar. Estas "lentes", que na verdade não "aumentam" nem "diminuem" (diz-se que elas têm grau zero), funcionarão aqui como espelhos; os feixes que se originam no divisor serão refletidos pela parte convexa destes. Sendo convexos, esses "espelhos" propiciarão uma

grande vantagem adicional: o feixe de luz (que é colimado ao sair do laser) expande-se ao ser por eles refletido. Elimina-se assim a necessidade da lente expansora, o que simplifica a montagem (há um elemento a menos com que se preocupar) e torna-a mais barata. Espelhos feitos com pedaços de CD também funcionam. Porém, nos testes realizados, as franjas de interferência não ficam tão nítidas, além de a montagem exigir a lente expansora. Com base nos testes por nós realizados, os melhores resultados foram obtidos com as lentes de óculos de sol.

O problema dos parafusos de ajuste dos espelhos e divisor foi resolvido com ... massa de modelar! Os espelhos são colados (massa de modelar, SuperBonder®, Araldite®, etc.) na parte frontal superior de uma das faces de cubos de madeira de dimensões aproximadas de $(8 \times 8 \times 8)$ cm³ (veja a figura 3).

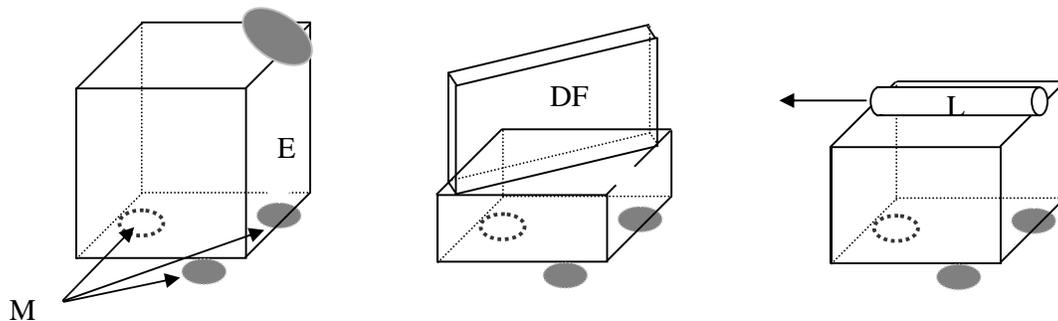


Figura 3. Na parte inferior dos suportes de madeira são coladas três pequenas bolas de massa de modelar (MM), as quais por sua vez repousarão sobre uma laje de pedra de dimensões aproximadas de 50 cm por 50 cm por 8 cm. Uma pequena pressão sobre os blocos deformará a massa, permitindo ajustes bastante precisos. Para a montagem do interferômetro são necessários dois suportes de espelho (E, na figura), um suporte para o divisor de feixe DF e um suporte para o laser (L). O anteparo, que não aparece nas figuras, pode ser improvisado até com uma caixa de sapatos recoberta por uma folha branca.

A montagem do interferômetro não exigirá cuidados muito especiais. Como "mesa", use uma laje de pedra, destas usadas para pavimentar calçadas. Num dos protótipos montados usamos uma laje de $(50 \times 50 \times 8)$ cm³, apoiada sobre uma mesa comum de laboratório. Uma medida adicional contra as vibrações mecânicas consiste em repousar a laje sobre uma lâmina de espuma de uns 2 cm de espessura; não foi entretanto necessário adotar esta providência nos protótipos que testamos.

Montagem e ajustes para obtenção das franjas de interferência: Vamos agora à disposição das diversas peças ópticas: em primeiro lugar, trace duas linhas perpendiculares, que se cruzam no centro da laje. (Estas linhas podem ser executadas, por exemplo, com tiras de fita isolante). No cruzamento das linhas coloque o divisor de feixe DF; use como referência a figura 1 e a foto da figura 4. A aresta maior da lâmina do divisor formará um ângulo de aproximadamente 45° com qualquer um dos ramos. Coloque em seguida o laser (mantenha-o ligado por intermédio de uma fita adesiva colada sobre a chave) numa das extremidades de um dos braços da cruz, apontado o feixe para o centro do divisor. (Lembre

que a regulagem é feita pressionando o suporte de madeira contra os apoios feitos com massa de modelar). Note que o feixe de laser fica dividido em vários, um atravessa o divisor enquanto que outros serão refletidos por este (há várias reflexões: a mais forte ocorre na primeira face do divisor, as outras ocorrem internamente. Em geral duas aparecerão nitidamente, a da primeira face e mais uma, interna, da segunda face). A próxima etapa consiste em posicionar os espelhos; o primeiro refletirá, de volta pelo mesmo caminho, o feixe que atravessou diretamente o divisor. Este feixe será refletido por este mesmo divisor e irá iluminar um anteparo, posicionado a uma distância de 30 a 50 cm da borda da pedra; fora desta. Trata-se agora de enviar de volta ao divisor o raio refletido (como referido acima, dois deles são bem visíveis): coloque o outro espelho no segundo ramo ajustando-o de modo que os raios refletidos incidam primeiramente no divisor e, após terem-no atravessado, apareçam projetados no anteparo. A altura das manchas neste último deve ser aproximadamente a mesma do feixe incidente. Ajuste as distâncias de cada um dos espelhos ao centro do divisor para que sejam iguais com uma tolerância de alguns milímetros (use uma régua comum); mesmo que os caminhos ópticos dos dois ramos não sejam exatamente os mesmos, esta providência simplificará a montagem sem comprometer o surgimento das franjas.

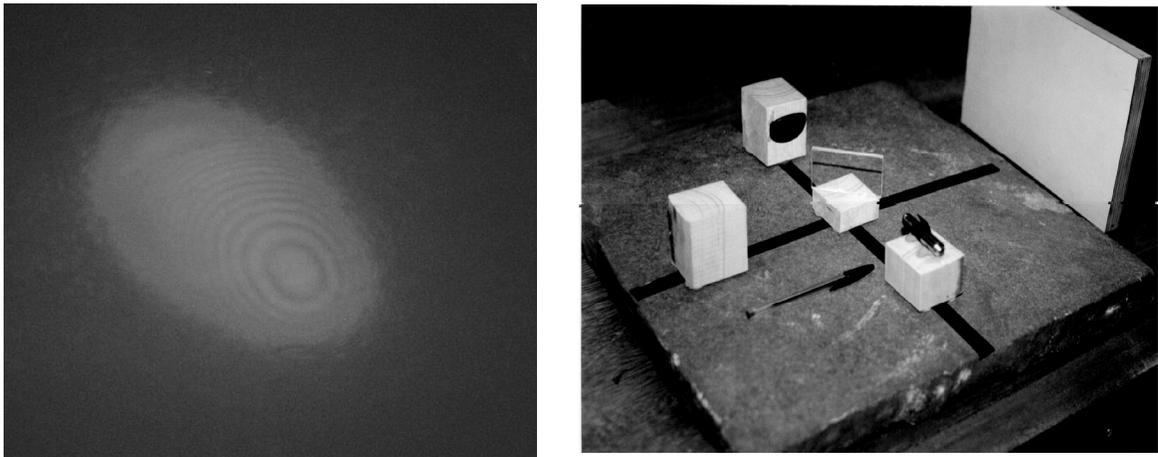


Figura 4: À esquerda, foto das franjas de interferência obtidas com a montagem descrita no texto, a qual aparece à direita.

Como é possível visualizar as franjas de interferência? Em primeiro lugar, as manchas de luz no anteparo, uma de cada ramo, devem ser sobrepostas. Faça isto atuando nos suportes dos espelhos, sempre com muito cuidado e delicadeza. Tenha paciência! Após cada ajuste, afaste-se um pouco da mesa e espere 20 ou 30 segundos: lembre que as vibrações, por mais tênues que elas sejam, destruirão (momentaneamente) o padrão de interferência, portanto, não toque na mesa! Além disso, a massa de modelar pode estar se deformando elasticamente, o que também destruirá o padrão de interferência; bastará esperar um pouco e a deformação cessará. Se as franjas ainda assim não aparecerem, não desista, tente outra vez. Elas acabarão por "dar o ar da graça" e aí, acredite, você terá seu "momento de glória"!

Há dois detalhes que ajudarão bastante no sucesso da montagem. O primeiro deles refere-se às duas reflexões mais fortes que o feixe de luz que emana do laser sofre no divisor. Nos testes realizados conseguimos observar as franjas tanto com um quanto com o outro feixe refletido. Porém, as franjas são muito mais nítidas com um deles. Não nos alongaremos aqui discorrendo sobre este efeito; é mais simples testar um, depois o outro, e ficar com o que der melhores resultados.

O segundo detalhe diz respeito à polarização do feixe do laser de diodo. Quando o feixe de laser incide numa superfície plana a região que ele ilumina assume a forma de uma elipse; o plano de polarização está contido justamente no eixo maior desta^{iv}. Observe que ao girar o laser em torno do eixo que contém o feixe de luz as duas manchas de luz originadas da reflexão no divisor ficam gradualmente mais fracas, até quase desaparecerem. Este efeito é uma manifestação da polarização por reflexão, regida pela chamada "lei de Brewster"^v. Nos testes por nós realizados verificamos que a posição do laser que gera franjas de interferência com melhor contraste é aquela na qual o eixo maior da elipse do feixe fica aproximadamente a 45° com a vertical^{vi}.

Uma vez encontradas as franjas, faça a seguinte demonstração: tape com a mão (sem tocar no interferômetro), alternadamente, cada um dos dois feixes de luz que se refletem nos espelhos; com isto, uma das manchas de luz desaparece do anteparo e, com ela, as franjas de interferência. Não poderia ser de outra forma ! É a interferência dos dois feixes que gera o padrão de claros e escuros ou, se preferirmos, na região escura diremos que "luz + luz = escuro" ... Note também que, numa região onde há uma franja escura, teremos luz se taparmos um dos feixes, qualquer um deles. Com os dois sobrepostos, dá escuro ... Surpreendente, não ? Os estudantes vão adorar isto !

Outras aplicações do interferômetro: Além da abordagem qualitativa do parágrafo anterior, o que mais se pode fazer com um interferômetro? Já fizemos alusão, no início deste trabalho, ao papel histórico do experimento de Michelson e Morley. Mas há mais ! Podemos:

a) Detectar vibrações: bata na mesa ou pise com força próximo à mesa sobre a qual a montagem foi realizada e veja o padrão de interferência desaparecer. Não se preocupe, ao cabo de alguns segundos, cessada a vibração, as franjas voltam !

b) Medir pequenos deslocamentos: Se um dos espelhos se move, as franjas "andam", e a passagem de uma franja clara a uma escura e novamente clara implica num deslocamento do espelho de meio comprimento de onda ($\lambda/2$). (É supérfluo insistir que, mesmo para um deslocamento muito pequeno - da ordem de 1/6 de micrometro - uma franja clara vira escura; basta então apenas aflorar com o dedo a parte de trás de um dos espelhos para observar o deslocamento das franjas. Mas, porquê a referência a $\lambda/2$ no parágrafo anterior ? Se for provocado um deslocamento Δx em um dos espelhos na direção do feixe, o padrão de interferência mudará. Se Δx for igual, por exemplo, a $\lambda/4$, a diferença de percurso da luz neste ramo, provocada por este deslocamento, será de $2\lambda/4$ (o "2" corresponde ao caminho de ida e volta da luz). Note que a franja que era, digamos, clara, passa a ser escura nas condições descritas. Caso você queira desenvolver um projeto^{vii} para medir o comprimento de onda da luz com o interferômetro aqui proposto, contate os autores por Email. Será necessário um investimento adicional em um relógio comparador, por volta de 250 reais, e algum trabalho de oficina.

c) Medir o índice de refração dos gases^{viii}: Basta assoprar levemente num dos ramos do interferômetro: o hálito quente fará com que as franjas se movam ! Esta idéia leva à possibilidade de medir o índice de refração do ar. Os autores podem fornecer por Email maiores detalhes sobre o aparato experimental que permite esta medida. Aqui, o investimento adicional, desta vez mais alto, fica por conta da bomba de vácuo. As bombas tipo sifão, acopladas a torneiras e usualmente empregadas nos laboratórios de química em

procedimentos de filtragem também servem, mas aí será necessário dispor de um medidor de vácuo, com escala de zero a uma atmosfera.

Há muitas outras aplicações espetaculares, tais como os interferômetros usados na tentativa de detecção de ondas gravitacionais^{ix}, ou as aplicações em astrofísica; o leitor certamente se defrontará freqüentemente com interferômetros ao consultar revistas e textos de divulgação científica.

Conclusão: O contraste das franjas de interferência obtidas com a montagem acima descrita é bastante bom, surpreendente até se considerada a simplicidade e o baixo custo da montagem. Trata-se de um projeto que, pela sua simplicidade, pode ser desenvolvido pelos próprios estudantes, dentro do quadro de atividades ligadas, por exemplo, às feiras de ciências, ou então como complemento ao laboratório de física da escola. Finalmente, a oportunidade de discutir com os estudantes um pouco dos primórdios da física moderna também é uma vantagem a considerar.

ⁱ Ver, por exemplo, BASSALO, José Maria Filardo. “A crônica da óptica clássica (parte III : 1801 – 1908)”. Caderno Catarinense de Ensino de Física, pg. 48 - 49, abril de 1989.

ⁱⁱ Para uma abordagem quantitativa, ver por exemplo TIPLER, Paul. "Física moderna", Editora Livros Técnicos e Científicos (1981), páginas 3 a 7. Um texto excelente para um primeiro contato é o primeiro capítulo de GAMOW, George. “O Incrível Mundo da Física Moderna” : *Limite de velocidade na cidade*. São Paulo, Ibrasa, 1980.

ⁱⁱⁱ Um inconveniente deste lasers são as baterias, pequenas (tipo pilhas de relógio), cujo tempo de duração não excede em geral a uma hora. Medimos a corrente de alguns destes lasers, alimentados com as baterias originais, novas, e encontramos valores por volta de 40 mA. Num dos lasers substituímos as três baterias originais por três pilhas grandes, de lanterna, e a corrente medida ficou mais ou menos no mesmo patamar, o que nos faz crer que existe no interior do laser um dispositivo limitador de corrente. Dois destes lasers, alimentados da forma descrita, funcionaram ininterruptamente por várias horas, sem qualquer problema.

^{iv} Há um excelente artigo sobre a polarização dos lasers de diodo: BENENSON, Raymond. "Light polarization experiments with a diode laser pointer". The physics Teacher, vol. 38, janeiro de 2000, pgs. 44-46. Uma solução de baixo custo para testar a polarização dos lasers de diodo consiste em usar uma lâmina polaróide retirada, por exemplo, de um visor de cristal líquido de uma calculadora fora de uso. Os autores podem fornecer por Email uma tradução livre deste texto, mediante solicitação dos interessados.

^v Além do artigo citado acima, veja por exemplo HALLIDAY, David, Robert RESNICK e JEARL WALKER, "Fundamentos de Física", Editora Livros Técnicos e Científicos, 1996 - Volume 4 - seção 39-4: polarização por reflexão.

^{vi} Este efeito não se verifica se os espelhos usados forem pedaços de CD, ou espelhos "profissionais" metalizados, o que está em perfeito acordo com o previsto: não há polarização por reflexão quando esta última ocorre em metais ou superfícies metalizadas. Nestes casos não há necessidade de ajustes no ângulo do laser por ocasião da montagem do interferômetro.

^{vii} CATELLI, Francisco, Rodrigo BERNARDI e Marcos ANDREAZZA. “Projeto de Um Deslocador de Espelho Para a Medida do Comprimento de Onda da Luz Através de um Interferômetro De Michelson”. XIII SNEF – Simpósio Nacional de Ensino de Física, Brasília, de 25 a 29 de Janeiro, 1999.

viii CATELLI, Francisco, Leandro PAVAN, Rodrigo BERNARDI “*Medida do índice de refração de um gás com laser de diodo*”. Apresentado no CRICTE 99, UFSM, em 9, 10 e 11 de julho, 1999.

ix O projeto franco italiano VIRGO inclui a construção de um gigantesco interferômetro do tipo Michelson, com braços de 3 km de comprimento, percorridos múltiplas vezes pela luz de um laser, com o objetivo de detectar ondas gravitacionais. Ver por exemplo o número especial de Science et Vie, no. 205, de dezembro de 1998, “*L’ Univers de la Gravitation*”, em especial a página 205 e seguintes.