



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Instituto de Física Armando Dias Tavares

Departamento de Eletrônica Quântica

Fernanda de Azevedo Costa

**Aplicação Experimental dos Fenômenos Ondulatórios no ensino de Física através
da construção da Cuba de Ondas**

Rio de Janeiro
2023

Fernanda de Azevedo Costa

Aplicação Experimental dos Fenômenos Ondulatórios no ensino de Física através da construção da Cuba de Ondas

Projeto Final de Graduação apresentado ao Departamento de Eletrônica Quântica, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos para obtenção do Diploma de Graduação pelo curso de Licenciatura em Física.

Orientador: Prof.º Luiz Pinheiro Cordovil da Silva
Coorientador: Prof.º Armando Dias Tavares Jr.

Rio de Janeiro
2023

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ/ REDE SIRIUS/ BIBLIOTECA CTC/D

C837a Costa, Fernanda de Azevedo.
Aplicação experimental dos fenômenos ondulatórios no ensino de física através da construção da cuba de ondas / Fernanda de Azevedo Costa. – 2023.
49 f. : il.

Orientador: Luiz Pinheiro Cordovil da Silva.
Coorientador: Armando Dias Tavares Junior.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) –
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Física Armando Dias Tavares.

1. Ondas (Física) – Estudo e ensino - Monografias. 2. Física - Estudo e ensino – Monografias. I. Silva, Luiz Pinheiro Cordovil da (Orient.). II. Tavares Junior, Armando Dias (Coorient.). III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Física Armando Dias Tavares. IV. Título.

CDU 534:37

Bibliotecária: Teresa da Silva CRB7/5209

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial deste Trabalho de Conclusão de Curso, desde que citada a fonte.

Fernanda de Azevedo Costa

Assinatura

27/07/2023

Data

**Construção de uma cuba de ondas para demonstração
de fenômenos ondulatórios**

Projeto Final de Graduação apresentado ao Departamento de Eletrônica Quântica, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos para obtenção do Diploma de Graduação pelo curso de Licenciatura em Física.

Aprovados em: 20 / 07 / 2023
Banca Examinadora:

Prof. Luiz Pinheiro Cordovil da Silva

Prof. Armando Dias Tavares Jr.

Prof. Giselle Faur de Castro Catarino

Rio de Janeiro
2023

Dedico este trabalho à minha família por investir arduamente na minha educação e me apoiar em todas as etapas. Aos meus amigos e docentes que colaboraram durante toda a minha graduação, com todo meu carinho.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento especial ao Prof. Luiz Pinheiro Cordovil da Silva, por toda orientação neste projeto desde a Iniciação Científica e por todo o apoio durante esses anos.

À minha família, que sempre me apoiou. Ao meu pai e à minha mãe por sempre investirem na minha educação a fim de eu obter sucesso profissional. À minha irmã por ter sido minha confidente e sempre me dar forças quando mais precisei. Eu devo todas as minhas conquistas a vocês.

Agradeço aos meus grandes amigos da vida, em especial Rafaella Chiodo, Monique Poubel, Livia Rodrigues e João Victor Sameiro, por serem sempre meus maiores parceiros e me auxiliarem a obter sucesso em todas as etapas da minha vida.

A graduação não seria possível sem os amigos que conquistei na universidade, Luísa Ferreira, Pedro Monteiro, Beatriz Almeida, Aila Alencar e Paulo Drummond. Vocês tiveram um papel fundamental durante toda a minha graduação na UERJ, e com certeza quero sempre presente em minha vida.

Agradeço à Universidade do Estado do Rio de Janeiro por me proporcionar os melhores anos da minha vida e por me preparar para grandes decisões profissionais. Sou grata pelas oportunidades que obtive durante toda minha trajetória e por conseguir colocar em prática meu projeto de Iniciação Científica, sendo orientada por Luiz Pinheiro. Tenho grande orgulho em dizer que estudei na UERJ e que faço parte da família da universidade.

RESUMO

A proposta deste trabalho foi montar uma cuba de ondas a partir de um antigo retroprojeto sem uso disponível na UERJ, a fim de demonstrar fenômenos ondulatórios como, reflexão, refração, difração, interferência e efeito Doppler, e assim, apresentar uma maneira mais proveitosa um conteúdo físico. Além disso, foi possível exibir maneiras de representar cada fenômeno ondulatório e abordar como é observado em cada situação, fazendo uma análise mais criteriosa sobre a forma como as imagens das ondas são produzidas no anteparo observado pelos alunos.

Palavras chave: Ensino de Física; fenômenos ondulatórios; cubas de ondas;

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	7
1. REFERENCIAL TEÓRICO	8
1.1 O ensino de Física nas escolas: abordagem tradicional	8
1.2 A Teoria Histórico-Cultural de Vygotsky	10
1.3 A importância da experimentação em sala de aula	13
2. OS FENÔMENOS ONDULATÓRIOS	16
2.1 Como o Enem trata dos fenômenos ondulatórios?	20
3. MONTAGEM DA CUBAS DE ONDAS	25
3.1 Componentes mecânicos	26
3.1.1 Retroprojektor	26
3.1.2 Estrutura metálica tubular e bandeja	27
3.1.3 Conjunto de acessórios	28
3.2 Componentes eletromecânicos	28
3.2.1 Gerador de oscilações mecânicas	28
3.3 Dispositivos eletrônicos	30
3.3.1 O estroboscópio	30
3.4 Relação de experimentos a serem realizados com a cuba de ondas	33
4. RESULTADOS	34
4.1 Reflexão	36
4.2 Refração	38
4.3 Difração	40
4.4 Interferência	42
4.5 Efeito Doppler	45
CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS	48

INTRODUÇÃO

O ensino de Física nas escolas brasileiras está voltado, majoritariamente, para reprodução de teoria e resolução de exercícios, deixando de lado processos como a observação, a abstração, a identificação, a pesquisa e a experimentação. Tendo em vista que o conhecimento científico de cada pessoa é construído ao longo da vida, de acordo com suas experiências e interpretações, é evidente a necessidade de programar atividades que proporcionem aos alunos oportunidades de observar fenômenos e discutir sobre eles, com o propósito de contribuir para o aprimoramento e ampliação de sua cultura científica.

Por meio da análise de que a disciplina Física gera grande dificuldade por parte dos alunos, em especial conteúdos em que necessitam de maior abstração, verifica-se que a teoria não se torna suficiente para o completo entendimento. Nesse contexto, este trabalho focou em Fenômenos Ondulatórios, um dos conteúdos que mais necessitam de ideias dos professores a fim de obter uma aula fluida e satisfatória, além de estar sempre presente no principal exame para ingressar ao ensino superior, o Enem, definindo o seu grau de importância para os discentes.

Em geral, os alunos, quando têm experimentos ou demonstrações em assuntos de óptica e/ou ondulatória, estão acostumados a lidar com fontes de luz lasers, no entanto, a onda luminosa proveniente desse tipo de fonte possui comprimentos de ondas da ordem de centenas de nanômetros, tornando impossível a observação da onda. Portanto, para efetuar uma discussão efetiva quanto aos fenômenos ondulatórios, como a reflexão, a refração, a interferência, a difração e o efeito Doppler, torna-se um desafio para os professores, uma vez que não há a existência de um dispositivo capaz de tornar “visível” as ondas e com capacidade de “congelá-las” no tempo. Neste contexto, a construção de uma cuba de ondas dará aos alunos capacidade de visualização de ondas mecânicas se propagando em um líquido bem como subsídios para a interpretação dos modelos e teorias que lhes são apresentados.

A proposta deste trabalho foi montar uma cuba de ondas a partir de um antigo retroprojetor sem uso disponível na UERJ, parte responsável pela projeção dos fenômenos estudados no anteparo, e assim, apresentar uma maneira mais proveitosa um conteúdo físico. Além disso, foi possível exibir maneiras de representar cada fenômeno ondulatório e abordar como é observado em cada situação, fazendo uma análise mais criteriosa sobre a forma como as imagens das ondas são produzidas no anteparo.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção se dedica à abordagem do ensino de Física nas escolas. Para isso, ela foi dividida em três subseções: na primeira, será realizada a descrição do viés tradicional; na segunda, será apresentada a vertente segundo os preceitos de Vygotsky (1987;1991); e, por fim, na terceira será mostrada a importância da experimentação na aprendizagem de fenômenos ondulatórios.

1.1 O ensino de Física nas escolas: abordagem tradicional

Normalmente, o Ensino Médio foca a preparação para a testagem, ou seja, os professores devem preparar os alunos para exames de vestibulares diversos. Nesse cenário, observa-se que há uma preocupação maior com os resultados, e não necessariamente com a forma pela qual o ensino será ministrado, o que elimina o processo de construção de conhecimento pelos estudantes. Consequentemente, apaga-se também a curiosidade pelos assuntos tratados, de modo que os alunos não são motivados a estudar determinada temática.

No caso da disciplina de Física, especificamente, situada na área de conhecimento denominada Ciências da Natureza¹, verifica-se que o ensino ocorre de forma descontextualizada com o cotidiano dos alunos, fazendo com que os conteúdos apresentados em sala de aula pelo professor se resumam a “fórmulas prontas”, como se houvesse um manual a ser decorado pelos discentes. Desse modo, eles apenas memorizam como aplicar fórmulas nas questões a fim de obter a aprovação desejada e, com isso, chegam ao Ensino Superior não se lembrando das temáticas abordadas no ambiente escolar.

Nesse panorama, como afirma Marco Antônio Moreira (2021) constata-se que no ensino de Física há o predomínio da aprendizagem mecânica, a qual é caracterizada pela aprendizagem de respostas corretas. Em contrapartida, há pouca presença da aprendizagem significativa, aquela na qual há a preocupação com a compreensão dos conhecimentos pelos alunos.

Nesse sentido, no ensino tradicional as aulas são ministradas com ênfase no docente, nas quais cabe a ele a transmissão dos assuntos, os quais consistem em fórmulas para a resolução dos problemas apresentados nas listas padronizadas de exercícios de vestibulares. Esse sistema, que vem sendo mantido pelos colégios, se caracteriza por preparar os alunos de

¹ Na BNCC, as disciplinas de Química, Física e Biologia integram a área de Ciências da Natureza, de forma que são trabalhadas de forma conjunta e integrada.

maneira mecânica, o que faz com que tais instituições se destaquem quanto à quantidade de alunos aprovados em universidades renomadas do país. Conforme Pilleti (1995, p. 50), no ensino tradicional:

O professor é o centro do processo pedagógico. A ele compete selecionar o saber, ordená-lo de forma lógica, e transmiti-lo ao aluno que passivamente o recebe, através do método expositivo e/ou demonstrativo. Cabe ao professor, também, avaliar o aluno em termos exclusivamente cognitivos. O professor, portanto, controla todo o processo pedagógico. Percebemos que essa tendência nega o saber adquirido pelo aluno na sua situação existencial. Por isso, diz-se que ela separa o saber teórico da experiência prática.

Entretanto, esse modelo de ensino-aprendizagem é prejudicial ao conhecimento do discente, pois a maneira de transmiti-lo, tanto pelo material didático, quanto em sala de aula, está longe do real propósito da Física na vida dos estudantes, o qual deve se pautar na efetiva compreensão dos assuntos ministrados, relacionando o conteúdo com situações do cotidiano experienciadas por eles. Assim, a transmissão do conhecimento do professor ao aluno se torna mecânica, sem ocorrer uma reflexão aprofundada sobre o tópico abordado. Esse método de aprendizagem provoca sentimentos negativos quanto à disciplina, levando muitos alunos a não gostarem de Física. Segundo Veit e Teodoro (2002, p. 88), esse panorama revela que “para a maioria deles, a Física representa uma disciplina muito difícil, em que é preciso decorar fórmulas cuja origem e finalidade não são devidamente esclarecidas”.

São diversos os fatores apontados para explicar a imagem que se criou da Física e, dentre eles, em consonância com Cavicchioli e Joucoski (2009, p. 3), está a forma como o conteúdo é compartilhado com os alunos, se caracterizando o livro didático como um forte influenciador. Comumente, nas aulas de Física, os conteúdos são apresentados de maneira expositiva, na qual o professor apresenta o assunto e o aluno observa, com reproduções de cálculos contidos nos livros didáticos e pouca relação com o cotidiano. Deste modo, possivelmente, os alunos não conseguem contextualizar suas vidas diárias com os estudos realizados, gerando-se dificuldades (SILVA, 2019, p. 3).

Nesse contexto, cabe ressaltar a diferença entre avaliação e verificação, pois, segundo Luckesi (1995, p. 93), “a verificação é uma ação que ‘congela’ o objeto; a avaliação, por sua vez, direciona o objeto numa trilha dinâmica de ação”. Conforme o autor, depreende-se que no contexto escolar o processo avaliativo tem se baseado majoritariamente em processos de verificação, nos quais a quantificação de alunos aprovados/reprovados tem mais relevância do que os aspectos qualitativos de aprendizagem.

Desse modo, cabe questionar qual tipo de ensino se quer apresentar aos nossos alunos. Como vem sendo delineado, um estudo pautado somente em fórmulas prontas não é efetivo,

isto é, não traz uma assimilação satisfatória dos conteúdos. Nesse sentido, torna-se fundamental a busca de alternativas que possibilitem um processo de aprendizagem rico em subsídios aos discentes e garantidor de uma associação da teoria com a prática. Isso significa que o professor deve modificar o enfoque do ensino, incluindo, além da exposição de cálculos matemáticos, a contextualização da ciência, tecnologia e sociedade (CTS), relacionando a Física com assuntos com os quais os alunos tenham familiaridade e, de fato, tenham aplicação para situações do cotidiano.

Com o objetivo de mostrar possíveis alternativas para um ensino mais contextualizado, este trabalho irá recorrer aos estudos de Lev Semionovitch Vygotsky², mais especificamente no que diz respeito à Teoria Histórico-Cultural, a qual será abordada na próxima seção. Pretende-se, assim, evidenciar a necessidade de aliar essa teoria aos estudos tradicionais, contribuindo para um aprendizado mais significativo na disciplina de Física.

1.2 A Teoria Histórico-Cultural de Vygotsky

Como foi visto na seção anterior, a Física trata de vários aspectos da vida dos alunos, porém é notória a falta de associação entre os conceitos ensinados e a sua real aplicação no dia a dia deles. Os próprios discentes, por exemplo, revelam que não percebem essa relação dos conteúdos apresentados em sala de aula com o cotidiano deles, no entanto há várias situações em que o aluno pode detectar a ocorrência de fenômenos físicos.

A título de exemplificação, o docente pode expor aos estudantes situações comuns que estão relacionadas diretamente com os fenômenos ondulatórios, tópico focado no presente trabalho, como os fones de cancelamento de ruído que fazem uso da interferência. Além desse, pode-se mencionar o fato de as bordas das sombras não serem bem definidas, o que representa a difração, ou a escuta de eco em certos ambientes, representando a reflexão. Outro fenômeno interessante ocorre quando observamos objetos submersos na água, o que dá a impressão de que estes estão mais próximos da superfície do que, de fato, estão caracterizando a refração. E, por fim, o professor pode assinalar que a diferença na altura do som emitido pela buzina de um carro se aproximando revela o efeito Doppler.

Diante desse fato, mostra-se a relevância de o professor utilizar o método de ensino contextualizado, ou seja, um ensino que evidencie a relação entre as vivências pessoais dos

² Neste trabalho, será adotada a grafia “Vygotsky”.

alunos e o currículo de Física. Assim, é importante o docente iniciar o conteúdo já o integrando com o contexto social do aluno, pois, dessa maneira, o educando terá mais familiaridade com o que será trabalhado na disciplina.

A fim de promover maior aproximação da Física com a realidade vivida pelos alunos, é necessário que o professor se inteire das ideias e pré-conceitos que eles manifestam, sendo hábil em estabelecer a relação entre o conhecimento científico apresentado em sala de aula com a realidade do discente. Consequentemente, além de tornar o ensino bastante fluido para os alunos, fará com que estes se tornem seres críticos da realidade em que vivem.

O assunto abordado em sala de aula pode (e deve) dialogar com os alunos. Nesse sentido, as próprias observações de fenômenos naturais ao seu redor fazem com que os conteúdos do livro-texto se transformem em acontecimentos, ou seja, tragam subsídios para que o entendimento se torne mais palpável, mais concreto para os discentes. Para que a prática de ensino seja eficaz, o “professor não precisa necessariamente ser um excelente orador, mas sim um articulador ou mediador entre o conhecimento científico e o aluno” (CARRIJO, 1995, p. 68), ou seja, o docente precisa utilizar artifícios que gerem maior engajamento por parte da turma, e não só apenas expor os conceitos apresentados no livro didático adotado (característica de um ensino que privilegia o viés tradicional). Para Isabel Solé (1998, p. 18):

a aprendizagem da leitura [...] requer uma intervenção explicitamente dirigida a essa aquisição. O aprendiz leitor [...] precisa da informação, do apoio, do incentivo e dos desafios proporcionados pelo professor ou pelo especialista na matéria em questão.

Com base no que vem sendo traçado, apoia-se na Teoria Histórico-Cultural do psicólogo russo Lev Semionovitch Vygotsky, a qual defende a necessidade desse intercâmbio entre o social e a aprendizagem escolar. A teoria sociocultural de Vygotsky afirma que o desenvolvimento humano não ocorre apenas por meio de fatores biológicos ou genéticos, mas também é influenciado pela interação social (VYGOTSKY, 1991), devendo-se analisar o contexto sociocultural em que o indivíduo está inserido, ou seja, é resultado de um processo gradual de internalização dos códigos culturais.

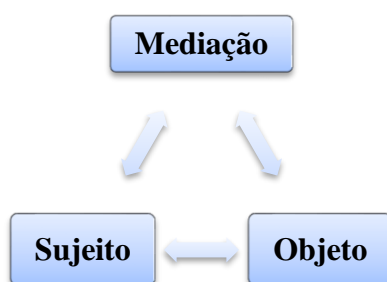
Essas interações sociais desempenham um papel fundamental no desenvolvimento cognitivo. O psicólogo argumentou que as crianças aprendem e desenvolvem suas habilidades por meio da interação com outras pessoas mais experientes, como pais, professores e colegas. A partir desse processo denominado mediação, é possível haver o desenvolvimento do pensamento e da personalidade individual. Dessa forma, Vygotsky (1991) assinala que por meio

de signos, isto é, da linguagem, os indivíduos podem compreender o mundo, seja por meio da comparação, seja por meio da representação.

No processo de ensino-aprendizagem, a escola se destaca no desenvolvimento do sujeito, visto que este já carrega sua bagagem quanto ao conhecimento acumulado de sua vivência, e, desse modo, o aprendizado escolar desenvolve funções como a fala, a memória, a atenção, a formação de conceitos, a consciência etc., as quais são chamadas de função psicológicas superiores. O conhecimento escolar propicia, então, o surgimento da chamada Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), conceito introduzido por Vygotsky que designa um nível correspondente ao amadurecimento que um indivíduo pode alcançar com a ajuda de um mediador (adulto ou educador). Dessa maneira, o professor tem uma importante função, já que, por meio do diálogo, estabelecerá o elo entre o aluno o objeto.

Na Figura 1, a seguir, mostra-se o esquema que sintetiza o processo de mediação concebido por Vygotsky. Como se pode observar, o tripé mediação-sujeito-objeto é o responsável pelo desenvolvimento do ensino ilustra o intercâmbio entre os três elementos fundamentais nesse processo.

Figura 1 – O processo de mediação em Vygotsky



Fonte: A autora (2023).

Nesse processo de tomada de autonomia, a mediação indica que o ser humano não tem acesso imediato aos objetos, mas um acesso mediato, isto é, por meio de recortes da realidade (VYGOTSKY, 1991). Isso significa que o aluno vai, por meio de operações simbólicas, isto é, mediante processos de representação (a exemplo da comparação), construir o conhecimento junto ao seu mediador.

De modo geral, a disciplina de Física apresenta grande dificuldade de compreensão, o que se comprova pelos resultados escolares obtidos pelos alunos. Conforme Vygotsky, esse fato

está relacionado à maneira de ensinar, que enfatiza a aprendizagem de definições, demandando altos níveis de abstração, atenção e consciência, visto que o ensino por definição não permite outras interpretações e que independe do contexto em que é anunciado. Assim, a definição do conceito exposto não leva à aprendizagem efetiva.

A maior dificuldade é a aplicação de um conceito finalmente apreendido e formulado a um nível abstrato, a novas situações concretas que devem ser vistas nesses mesmos termos abstratos - um tipo de transferência que, em geral, só é dominado no final da adolescência. A transição do abstrato para o concreto mostra-se tão árdua para o jovem como a transição primitiva do concreto para o abstrato. (VYGOTSKY, 1987, p. 100)

A fim de que o processo de ensino-aprendizagem em sala de aula ocorra satisfatoriamente, o professor, como o ser mais capaz de auxiliar nas atividades propostas, deve fazer uso de bons recursos que sirvam de ponte entre o aluno e o meio em que vive. Isso pode ser feito, por exemplo, por meio de atividades experimentais, mediante o acréscimo de instrumentos e pelo auxílio da explicação teórica de todas as etapas observadas. Nesse sentido, prezam-se as atividades em que os alunos consigam observar de perto assuntos que são passados em sala de aula, oferecendo-lhes maior compreensão sobre o tema, além de proporcionar maior interesse pela disciplina.

No ensino de ciências, a experimentação pode ser uma estratégia eficiente para a criação de problemas reais que permitam a contextualização e o estímulo de questionamentos de investigação. Nessa perspectiva, o conteúdo a ser trabalhado caracteriza-se como resposta aos questionamentos feitos pelos educandos durante a interação com o contexto criado (GUIMARÃES, 2009, p. 1980).

No presente trabalho, o foco recai na parte de experimentação, ferramenta pela qual o aluno terá maior aproximação com os temas abordados. Tendo isso em vista, na próxima subseção será traçada sua importância no contexto escolar.

1.3 A importância da experimentação em sala de aula

Conforme foi visto na última seção, a partir da introdução experimental em sala de aula, é possível criar momentos para a elaboração de sugestões, reflexões, discussões e documentação escrita de ideias por parte dos alunos. Consequentemente, essa prática irá enriquecer o aprendizado, além de mostrar aos estudantes que tudo à sua volta tem aplicação direta com a Física.

Com a evolução da tecnologia, percebe-se o quanto é necessário incluir Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC), ou seja, utilizar meios alternativos e eficazes nas salas de aulas, a fim de alcançar efetivamente a aprendizagem por parte dos alunos, ainda mais considerando que estes já nasceram na era tecnológica. Na visão de Vygotsky (1991), essa utilização é uma das formas possíveis de mediação, porém, para isso ser efetivo, é necessário usá-la de maneira significativa, indo além da acessibilidade e da interação com as máquinas. Com isso, o aluno, por meio do emprego da mediação tecnológica e virtual, encontrará motivação, uma vez que esta dialoga diretamente com a realidade em que vive.

As inovações tecnológicas no ambiente escolar devem ser utilizadas de forma acessória, ou seja, devem servir de complemento às explicações teóricas verbais aos discentes, permitindo apresentar o conteúdo de forma mais dinâmica. Assim, integrando o ensino de caráter mais expositivo ao ensino de viés mais “prático”, será possível estabelecer um processo de ensino-aprendizagem mais significativo para o aluno.

Com o objetivo, então, de que os alunos explorem o interesse e mostrem curiosidade sobre a aplicação da Física no seu cotidiano, questões que são, muitas vezes, apagadas pelo predomínio do ensino tradicional, acredita-se que a introdução de atividades experimentais possa colaborar para despertar a curiosidade do aluno a respeito dos fenômenos em Física. De acordo com Carrijo (1995), os alunos gostam bastante de aulas com técnicas e recursos variados, sendo necessário levar para a sala de aula ferramentas além do livro, e não se fixar em informações, mas em levar discussão. Por consequência, haverá maior interação entre todos os estudantes da classe e auxílio na compreensão do conteúdo da disciplina de Física.

No caso específico do assunto “Ondulatória”, há grande dificuldade por parte dos alunos em relação à assimilação dos conteúdos, visto que é necessária a abstração dos conceitos, isto é, que o estudante consiga, a partir de situações habituais, enxergar conceitos físicos. Além disso, a explicação apenas por definição se torna um obstáculo para os professores, uma vez que não há ferramentas satisfatórias para exemplificação.

Como observado acima, e para fins de ensino e aprendizagem, não basta a síntese, o isolamento de um ou mais aspectos de um objeto. É necessária uma generalização do corte realizado para fins característicos, como o da didatização de conhecimentos para um fim. Em nosso caso particular, consiste em uma didatização dos aspectos abstraídos e sua generalização para conhecimentos físicos específicos (LIMA, 2018, p. 10).

Desse modo, conforme Vygotsky (1987), os conceitos científicos são resultados do aprendizado escolar. Na escola, o educando terá contato com o uso de regras, que, posteriormente, será responsável pelo desenvolvimento de sua abstração. Essa trajetória, ainda segundo o autor, é possível mediante a linguagem (denominada, por ele, de signo).

Nesse sentido, a experimentação serve como um facilitador da interação entre o professor e o aluno com o intuito de entender termos que, à primeira vista, parecem bastante complexos. Isso reforça a necessidade de que o estudante tenha, em seu processo de ensino, o apoio do professor e de práticas experimentais que colaborem para o aprendizado dos conceitos técnicos.

Especialmente no caso do presente trabalho, com o acréscimo de experimentações, os discentes se tornarão cada vez mais aptos a realizar qualquer avaliação proposta, desde provas escolares, exames nacionais e provas de vestibulares. Com o enriquecimento da trajetória escolar dos jovens, estes irão tirar maior proveito para sua vida futura, além da possibilidade de entrar em uma universidade reconhecida. Em outros termos, pode-se dizer que a mudança de ensinar em sala de aula será proveitosa em todas as vertentes.

Com base nesses pressupostos apresentados, a próxima seção tratará da abordagem dos fenômenos ondulatórios, foco da presente reflexão. Com isso, poderá ser feito um panorama das principais características desse tema.

2. OS FENÔMENOS ONDULATÓRIOS

Para maior compreensão do que será observado através da cuba de ondas construída, é necessário apresentar os elementos das ondas, além da explicação de cada fenômeno ondulatório estudado.

Na “Ondulatória”, estuda-se o comportamento de ondas ou perturbações que se propagam pelo espaço sem transporte de matéria, apenas de energia. O elemento que produz uma onda é denominado fonte, por exemplo, uma pedra lançada em um lago ou um gerador de rádio frequência, etc. As ondas podem ser classificadas em ondas eletromagnéticas e mecânicas. As ondas eletromagnéticas não precisam de meio para se propagarem; como exemplo, têm-se as ondas luminosas. Por sua vez, as ondas mecânicas necessitam de um meio para se propagar, a exemplo das ondas sonoras. No presente trabalho, as ondas formadas pela cuba de ondas são mecânicas, visto que necessitam de um meio para se propagarem; neste caso, a água.

Na Figura 2 a seguir, está representada uma onda bidimensional periódica, na qual perturbações provocadas por uma fonte possuem período constante, ou seja, o intervalo de tempo para completar um pulso é sempre o mesmo. Para caracterização de uma onda é necessário introduzir seus parâmetros característicos, como o comprimento de onda (λ), a amplitude (A), o período (T), a frequência (f) e a velocidade de propagação (v).

Para uma maior explicação dos termos acima mencionados, é apresentada, a seguir, a definição de cada um deles:

a) Amplitude (A): é o valor máximo da grandeza considerada, medido do eixo central e o ponto mais alto (crista) ou o ponto mais baixo (vale). Essa grandeza está relacionada à intensidade que a onda tem; logo, quanto maior a amplitude, maior será a intensidade.

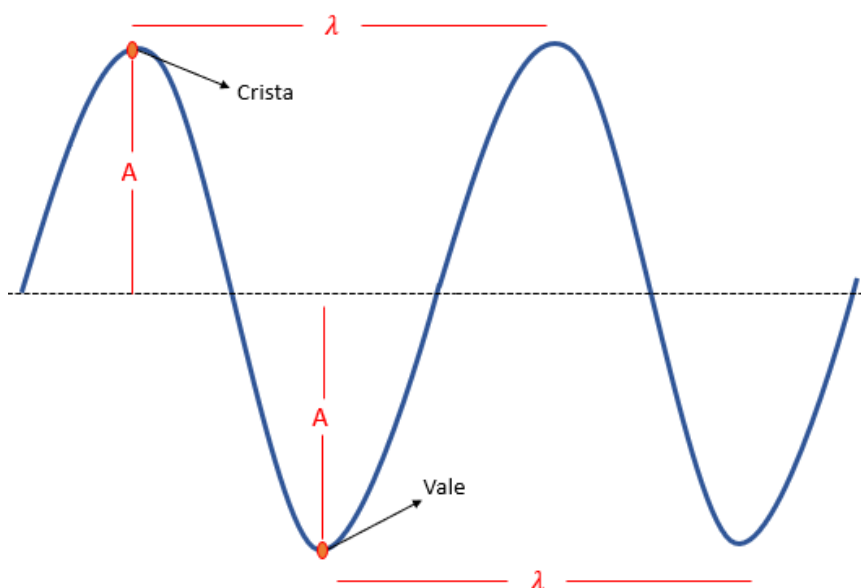
b) Comprimento de onda (λ): é a medida de um ciclo completo da onda, que pode ser calculada por meio de duas cristas consecutivas, ou dois vales consecutivos.

c) Período (T): é o intervalo de tempo para completar uma onda.

d) Frequência (f): é a quantidade de ciclos formados em um intervalo de tempo, podendo ser calculada por meio de $f = \frac{1}{T}$, ou seja, o inverso do período.

e) Velocidade da onda (v): é a velocidade com que a onda se propaga, sendo a razão do comprimento de onda pelo período ($v = \frac{\lambda}{T}$).

Figura 2 – Representação de uma onda bidimensional periódica

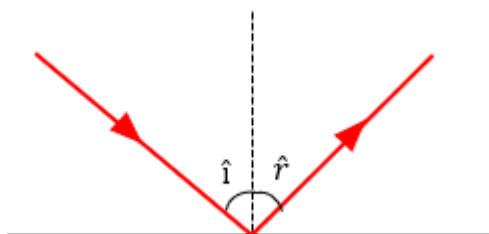


Fonte: A autora (2023).

Agora, compreendendo o que são ondas, pode-se ter maior entendimento sobre os fenômenos ondulatórios passíveis de serem observados pela cuba.

O primeiro fenômeno examinado é a reflexão, que ocorre quando a onda incide em uma superfície de um material, e esta é reemitida sem que ocorra alteração na sua frequência. Em síntese, nesse caso uma onda é refletida quando retorna ao meio de onde veio. Esse fenômeno ondulatório é representado na Figura 3 a seguir:

Figura 3 – Representação do fenômeno da reflexão

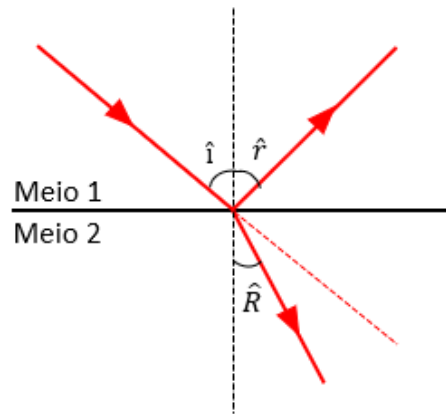


Fonte: A autora (2023).

Onde \hat{i} , chamado de ângulo de incidência, é o ângulo que o feixe incidente faz com a reta Normal (perpendicular à superfície). Por sua vez, \hat{r} é o ângulo que o feixe refratado faz com a reta Normal, chamado de ângulo refratado. É necessário que esses ângulos tenham o mesmo valor, ou seja, $\hat{i} = \hat{r}$.

Já na refração, a onda sofre um desvio devido à mudança de meio ou de densidade. Como consequência, a velocidade e o comprimento de onda se alteram. A representação desse fenômeno pode ser vista na Figura 4:

Figura 4 – Esquema da refração de uma onda



Fonte: A autora (2023).

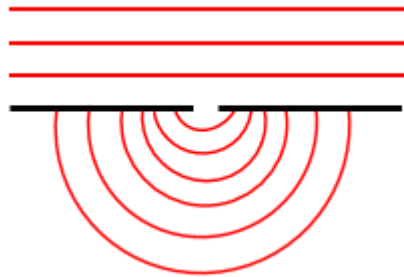
Por meio do esquema anterior, nota-se que, na passagem do meio 1 para o meio 2, o feixe de luz incidente muda de direção, podendo se aproximar ou se afastar da Normal.

E pela Lei de Snell, tem-se que:

$$\frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{r}} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \quad (1)$$

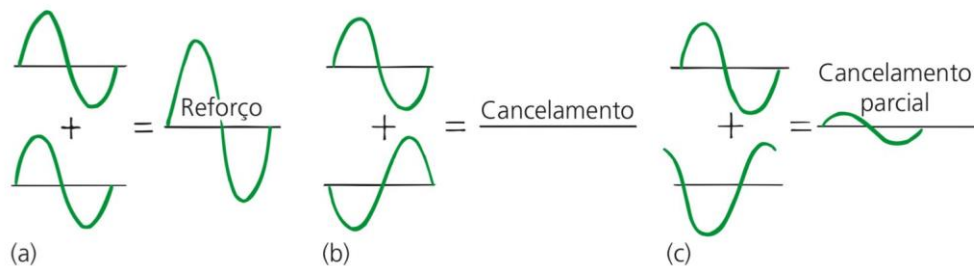
Onde λ_1 é o comprimento de onda do pulso incidente, e λ_2 é o comprimento de onda do pulso refratado.

Por sua vez, a difração ocorre devido à propriedade de uma frente de onda contornar um obstáculo quando este é colocado no seu caminho, sofrendo deformação em sua geometria. Para uma fenda estreita (largura da fenda aproximadamente igual ao comprimento da onda λ), a frente de onda se deformará conforme mostrado na Figura 5, a seguir.

Figura 5 - Esquema da difração de uma onda

Fonte: A autora (2023).

O penúltimo fenômeno observado é a interferência, que ocorre quando duas ondas se encontram em um ponto. Para ondas de mesmo comprimento de onda (λ), a interferência se dá por meio da anulação ou reforço alternado entre elas, como é mostrado na Figura 6. A interferência será construtiva ou destrutiva dependendo das diferenças das distâncias percorridas pelas ondas em termos de números inteiros ou semi-inteiros de comprimentos de onda.

Figura 6 – Demonstração da interferência ondulatória

Fonte³: HEWITT (2015, p. 549).

Na situação (a), observa-se que duas ondas idênticas na mesma fase produzem uma onda de mesmo comprimento de onda e frequência, porém com o dobro da amplitude, o que se denomina interferência construtiva.

Já na situação (b), ondas idênticas estão em fases opostas, tendo, como resultado, uma interferência destrutiva, ou seja, cancelamento total.

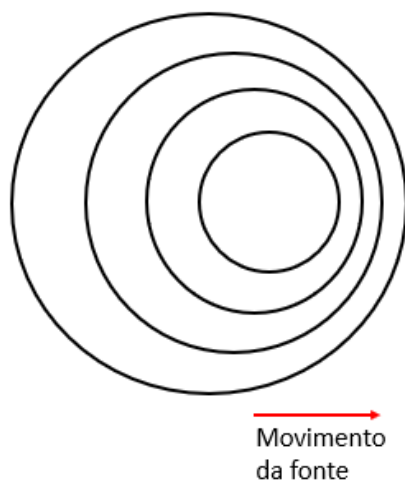
³ Fonte: HEWITT, P. G. **Física conceitual**. Tradução de Trieste Freire Ricci. 12. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

Porém, se as ondas estiverem parcialmente fora de fase, como é o caso (c), ocorrerá cancelamento parcial da onda, visto que os comprimentos de onda se subtraem.

Por fim, o efeito Doppler ocorre quando a fonte e o seu receptor têm um movimento relativo um ao outro, e, como consequência, a frequência observada no receptor não é a mesma observada no emissor. Quando os dois se aproximam, a frequência verificada é maior que a frequência emitida; e, quando se afastam, a frequência observada é menor que a da fonte emissora. Em síntese, a alteração da frequência ocorre devido ao movimento da fonte (ou do receptor), fenômeno denominado de efeito Doppler.

A Figura 7 a seguir ilustra exatamente como as ondas se comportam quando ocorre esse fenômeno ondulatório. É importante ressaltar que a figura representa como as ondas se comportam quando a fonte se movimenta com velocidade menor que a velocidade de propagação da onda.

Figura 7 – Esquema do efeito Doppler



Fonte: A autora (2023).

Após expor, brevemente, os fenômenos ondulatórios, pode-se compreender como tais fenômenos são tratados no Enem, tópico abordado a seguir.

2.1 Como o Enem trata dos fenômenos ondulatórios?

Como já foi mencionado anteriormente, a presente reflexão se debruça sobre o tópico “Ondulatória”. Porém, antes de iniciar a abordagem de como o Exame Nacional do Ensino

Médio cobra esse conteúdo, é importante apresentar contexto dessa prova de admissão até os dias de hoje.

O Enem⁴ foi criado em 1998 com o objetivo de avaliar o desempenho de jovens estudantes do Ensino Médio que estavam no último ano de escolaridade, sendo sua participação voluntária. Em seu primeiro ano, cerca de 157 mil estudantes se inscreveram para realizar o exame. Porém, a partir do ano de 2001, o Enem começou a compor a nota para o ingresso ao Ensino Superior, seja de modo isolado ou combinado com o vestibular particular da universidade.

Inicialmente, a prova era composta por 63 questões, havendo também a redação. No ano de 2009, houve a maior mudança, e o exame se assemelhou ao modo como é aplicado atualmente, tendo ao todo 180 questões junto à redação dissertativa. Além disso, o Enem passa a ser aplicado em dois dias — sábado e domingo —, separado em Ciências da Natureza e Ciências Humanas no primeiro dia, e Linguagens, Redação e Matemática no segundo dia.

Nesse cenário, cabe destacar, ainda, em 2010 a criação do Sistema de Seleção Unificada (Sisu) pelo Ministério da Educação (MEC), plataforma que seleciona os candidatos do Enem para os cursos de graduação de universidades públicas do país. Nesse ano, também foi aplicada a Teoria de Resposta ao Item (TRI), responsável por garantir que os exames tenham o mesmo grau de dificuldade.

A partir de 2017, houve maiores modificações, como a disposição de conteúdos cobrados para cada dia de aplicação. Os candidatos, agora, fazem as provas de Ciências Humanas, Linguagens e Redação em um dia, e Ciências da Natureza e Matemática no outro dia. Outro ponto relevante é que o exame é aplicado, agora, em dois domingos consecutivos.

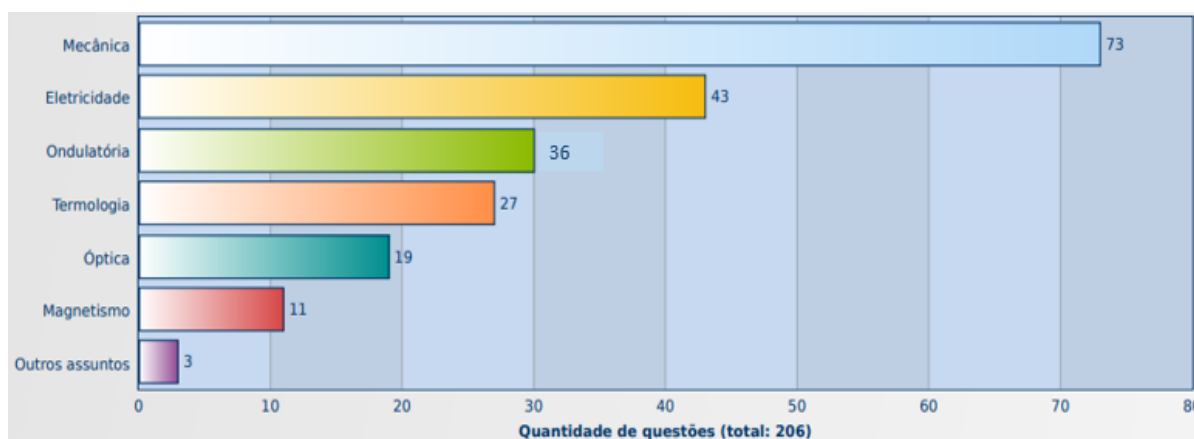
A nota do Enem, além de ser usada no Sisu, principal porta de entrada para faculdades públicas, é utilizada para o Fundo de Financiamento ao Estudante do Ensino Superior (Fies), programa do MEC destinado a financiar a graduação na Educação Superior de estudantes matriculados em instituições não gratuitas, e para o Programa Universidade para Todos (ProUni), o qual oferta bolsas de estudo integrais e parciais (50% do valor da mensalidade do

⁴ Todas as informações referentes ao Exame Nacional do Ensino Médio foram retiradas do site do Mec. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/>.

curso), em cursos de graduação e sequenciais de formação específica, em instituições de Educação Superior privadas.

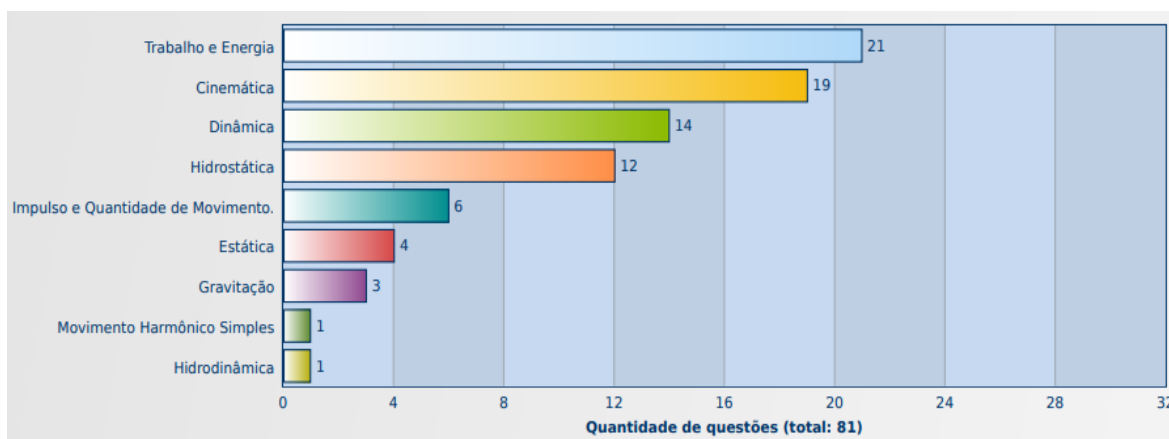
Por meio das informações incluídas até então sobre o Enem, é nítida a importância da avaliação no contexto escolar dos vestibulandos. Com o propósito de obterem bons resultados e conquistarem sua entrada no Ensino Superior, os alunos se preparam durante um ano e, com isso, focam os assuntos mais incidentes na prova, a qual contém 15 questões de Física entre as 180 que compõem o exame. A seguir, o Gráfico 1 aponta os conteúdos cobrados nessa disciplina desde 2009.

Gráfico 1 – Quantidade questões por ramo da Física cobrados no Enem



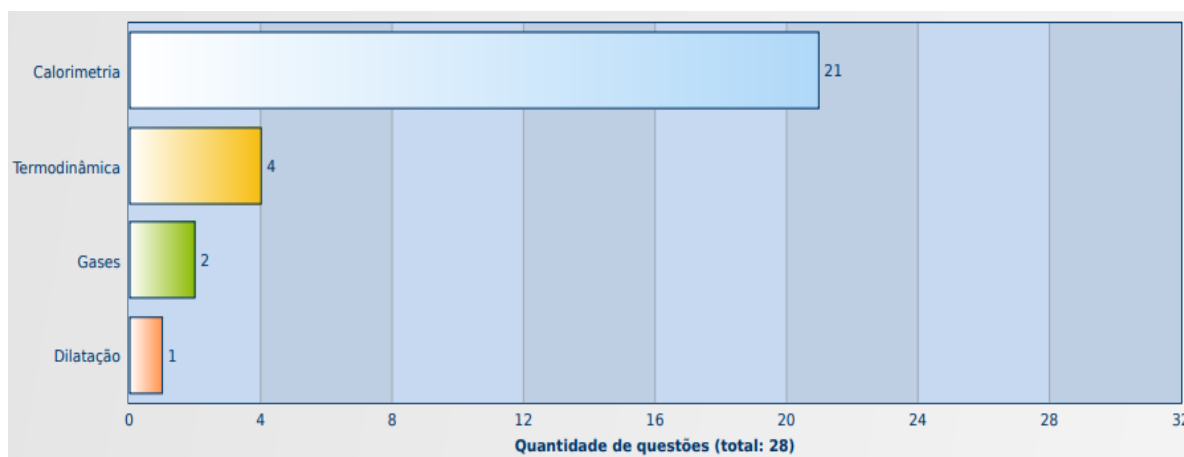
Fonte: www.sprweb.com.br/

Na análise desse gráfico, verificamos que Mecânica é o ramo que apresentou maior índice de questões. A área aborda diversos tópicos da Física, como cinemática, dinâmica, energia, hidrostática, etc., logo se torna o mais importante para os alunos focarem. Conforme o Gráfico 2, a seguir, pode-se notar qual a incidência para cada um dos tópicos desse ramo.

Gráfico 2 – Quantidade de questões do ramo da Mecânica

Fonte: www.sprweb.com.br/

Outro ramo que tem uma divisão diversificada quanto aos assuntos é Termologia. No Gráfico 3, a seguir, é possível notar também a quantidade de questões por assunto durante o mesmo período.

Gráfico 3 – Quantidade de questões no Enem do ramo de Termologia

Fonte: www.sprweb.com.br/

Levando em consideração os gráficos anteriores, é possível perceber que no *ranking* dos conteúdos mais cobrados no Enem estão: Eletricidade, Energia, Ondulatória, Calorimetria/Termodinâmica e Cinemática. Esse ponto se torna um grande fator para a organização dos estudos dos estudantes.

Entre esses assuntos, é bastante comum os próprios alunos apresentarem dificuldade em compreender o conteúdo “Ondulatória”, em virtude de ser um assunto que requer mais abstração, e uma aula de ensino tradicional, conforme discutido anteriormente, não é a maneira mais proveitosa para o aluno ter completa assimilação.

Com o intuito de ter uma gama de exercícios da mesma banca e poder se preparar para o exame, é comum os discentes resolverem questões de exames anteriores. Para isso, além do Enem, são resolvidas questões do Enem Libras, Digital, PPL etc. Mesmo sendo exames de aplicações diferentes, as questões são todas da mesma banca; logo, a diversificação é exitosa para o aluno. Dessa maneira, na Tabela 1, a seguir, é apresentada a quantidade total de questões de “Ondulatória” entre os anos de 2009 até 2022 dos diferentes exames do Enem.

Tabela 1 – Quantidade de questões de “Ondulatória” em diferentes bancas do Enem

Banca	Qntd
Enem	36
Enem Libras	1
2ª aplicação	7
Cancelado	2
Digital	1
PPL	38
Simulado	1
Total	86

Fonte: A autora (2023).

Mediante as análises das provas de anos anteriores, foi possível verificar que, em todos os anos, houve pelo menos uma questão de “Ondulatória” no Enem, comprovando sua importância.

Com base nessas informações e visando contribuir para a melhoria das aulas práticas de óptica, foi iniciada a construção de uma cuba de ondas para ser utilizada na demonstração de fenômenos ondulatórios. Esta cuba pode ser utilizada tanto na sala de aula quanto no laboratório, podendo atender os alunos do ensino médio e também de graduação. Além disso, esta irá contribuir para o processo de ensino e aprendizagem em Física. Após a sua construção, serão exploradas as características gerais das ondas em águas em cada fenômeno ondulatório descrito anteriormente.

Com base no que vem sendo exposto, pode-se, agora, passar para a demonstração da construção da cuba de ondas, que servirá ao propósito de um estudo mais contextualizado para os alunos.

3. MONTAGEM DA CUBA DE ONDAS

Nesta seção, tem-se o intuito de observar, na prática, como o ensino de Física baseado em procedimentos mais voltados ao cotidiano do aluno pode contribuir para o êxito do processo de aprendizagem. Para isso, será mostrado, agora, como a cuba de ondas facilitará o aprendizado dos discentes, visando a uma maior reflexão e compreensão das questões do Enem.

Esse tipo de projeto já foi desenvolvido por alunos de outras instituições de ensino apresentando pequenas modificações em relação aos parâmetros de construção da cuba. No entanto, uma análise mais criteriosa sobre a forma como as imagens das ondas são produzidas no anteparo é negligenciada. Assim, neste trabalho, além do que já foi exposto, pretende-se explorar esses aspectos.

A cuba de ondas pode ser construída a partir de duas topologias diferentes. Na primeira situação, a luz atravessa de cima para baixo a bandeja com água e, em seguida, é refletida por um espelho diagonal, de forma que a imagem ampliada das ondas seja projetada em um anteparo. No segundo caso, a luz atravessa de baixo para cima uma grande lente (lente de Fresnel), passa através da bandeja com água e, em seguida, é projetada no anteparo por um sistema constituído de lentes e de espelho.

Na escolha da topologia a ser adotada, alguns fatores foram observados. Assim, verificou-se que a última topologia mencionada permite, por praticidade, utilizar um retroprojektor como parte principal do sistema de ampliação e de projeção da imagem. Tal dispositivo, já sem uso nas salas de aulas, é facilmente adaptável para o presente trabalho. Além disso, o Laboratório de Óptica dispõe desse aparato para a realização dos procedimentos necessários para a construção da cuba de ondas.

O aparato para a elaboração da cuba será formado por um dispositivo de projeção (o retroprojektor), a bandeja de água (onde será armazenada a água e geradas as ondas projetadas no anteparo) e os circuitos que controlarão as vibrações e a frequência da lâmpada estroboscópica. Além desses elementos, serão necessários alguns acessórios que auxiliarão na demonstração dos fenômenos ondulatórios.

Cabe ressaltar que a construção da cuba de ondas foi composta de várias etapas, além dos ajustes após a visualização de resultados das ondas mecânicas produzidas pelo oscilador no anteparo. Com a utilização do retroprojektor disponibilizado pelo laboratório da UERJ, o qual

servirá como cuba de ondas, e de uma bandeja de acrílico para colocar a água, foram feitas modificações e construções de circuitos eletrônicos (circuito do estroboscópio e circuito de controle PWM do motor).

A cuba de ondas a ser construída pode ser dividida em quatro partes principais:

- componentes mecânicos;
- componentes eletromagnéticos;
- dispositivos eletrônicos.

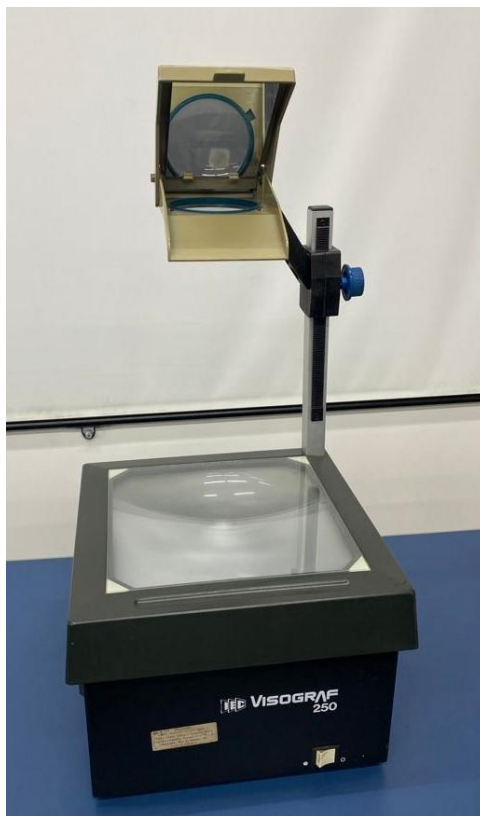
3.1 Componentes mecânicos

Compreendem a parte mecânica o retroprojektor; a estrutura metálica tubular (que acomodará a bandeja com água); a bandeja com água, na qual serão produzidas as ondas; e o conjunto de acessórios (componentes mecânicos que auxiliarão na produção e na propagação das ondas). O retroprojektor é seguramente o dispositivo mais importante deste conjunto.

3.1.1 Retroprojektor

O retroprojektor é um dispositivo capaz de projetar imagens ampliadas de textos gráficos ou de imagens sobre uma tela (ou anteparo). Essas imagens são obtidas a partir de objetos em lâminas de plástico transparentes, popularmente conhecidas como transparências ou acetados. Conforme já mencionado, no laboratório de Óptica existia um antigo retroprojektor que foi utilizado na cuba de ondas. A única modificação feita nesse aparelho foi a substituição da lâmpada incandescente por uma lâmpada LED (aproximadamente 10 W), devido à intensidade apresentada no anteparo. A Imagem 1 mostra o retroprojektor utilizado na montagem da cuba de ondas.

Imagem 1: Retroprojektor utilizado na montagem da cuba de ondas



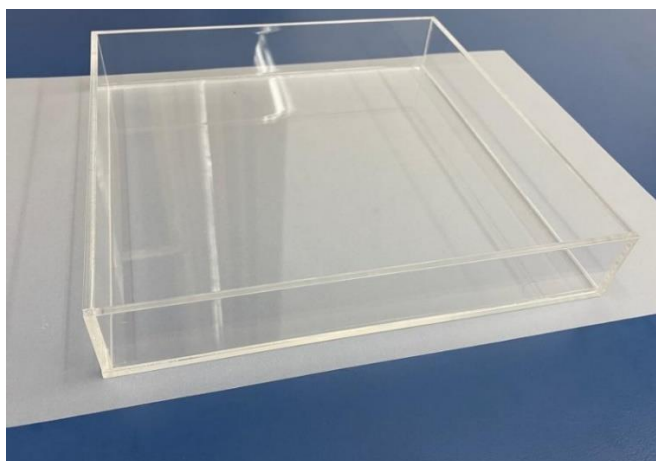
Fonte: A autora (2023).

3.1.2 Estrutura metálica tubular e bandeja

A estrutura metálica foi construída a partir de perfis metálicos de alumínio com seção transversal retangular cuja função será suportar a bandeja com água (que ficará acima da lente de Fresnel do retroprojektor). Essa estrutura contém amortecedores para diminuir a influência da vibração mecânica externa e parafusos de ajuste de inclinação.

Por sua vez, a bandeja foi construída com acrílico, tendo em vista que o material transparente é crucial para a observação das ondas formadas na água e para a instalação sobre a lente de Fresnel do retroprojektor. A seguir, na Imagem 2 está representada a bandeja de acrílico para o armazenamento da água.

Imagem 2 – Bandeja de acrílico para armazenar a água



Fonte: Autora (2023).

3.1.3 Conjunto de acessórios

Os acessórios serão necessários para transmitir o movimento do gerador de vibração à bandeja com água a fim de perturbá-los (ou excitá-los) e modificar o percurso da onda na bandeja (anteparos, fendas simples, dupla fenda etc.), todos de fácil construção.

3.2 Componentes eletromecânicos

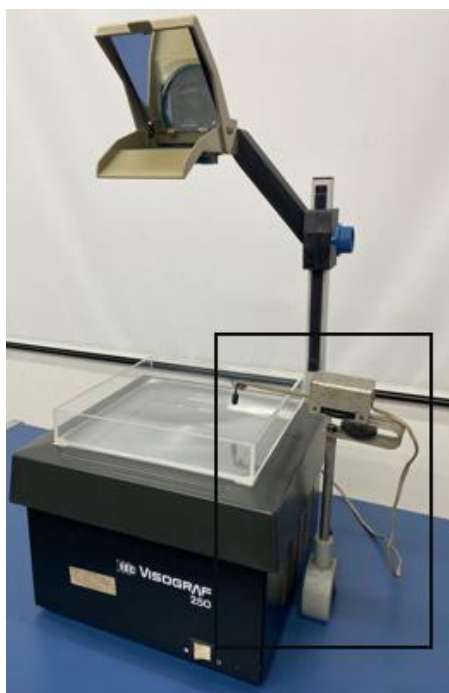
Os componentes eletromecânicos são aqueles que irão compor o gerador de vibrações mecânicas. Pretende-se gerar as oscilações mecânicas a partir de um conjunto constituído de um motor, um disco preso ao eixo desse motor e duas hastes móveis, como mostra a seção seguinte.

3.2.1 Gerador de oscilações mecânicas⁵

Esse dispositivo foi construído a partir de um pequeno motor em cujo eixo foi acoplado um pequeno disco, o qual, ao girar, acionará uma pequena alavanca, fazendo movimentos de sobe e desce. Esse movimento será produzido na água em repouso armazenada na bandeja por meio de pequenas peças (materiais acessórios). A Figura 8, a seguir, ilustra o esquema do gerador de oscilações.

⁵ PRESTON, D. W; Dietz, E. R. **The Art of Experimental Physics**. New York: John Wiley & Sons, 1991.

Imagem 3 – Cuba de ondas com destaque ao gerador de ondas mecânicas



Fonte: A autora (2023).

3.3 Dispositivos eletrônicos

São os componentes eletrônicos que irão constituir o circuito do estroboscópio e circuito do gerador de oscilações mecânicas.

3.3.1 O estroboscópio⁶

O conjunto do estroboscópio consiste em um dispositivo eletrônico que produz clarões e forte luminosidade com ritmo regular e ajustável, ou seja, excita uma lâmpada em intervalos de tempo muito pequenos. Assim, o piscar periódico e constante de uma lâmpada permite estudar e registrar o movimento contínuo ou periódico de objetos que se movimentam com certa velocidade constante com o objetivo de fazê-lo parecer estacionário.

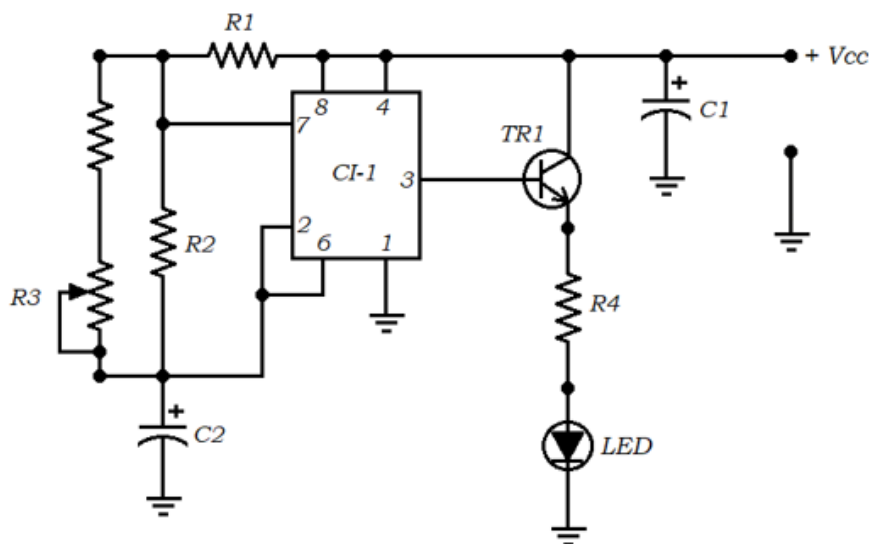
Com isso, obtém-se um conjunto de imagens discretas, mas que não são representativas do percurso que o corpo descreve. Consegue-se esse efeito por meio da alternância entre o acender e o apagar de uma luz intensa. Quando se utiliza uma lâmpada estroboscópica, permite-se determinar a frequência de rotação de corpos, pois, com a coincidência entre a frequência da

⁶ PRESTON, D. W; Dietz, E. R. **The Art of Experimental Physics**. New York: John Wiley & Sons, 1991.

iluminação e a do movimento, cada feixe de luz ilumina a mesma fase do movimento, resultando numa aparente imobilidade do corpo em rotação. Se as frequências do estroboscópio e do processo de mediação forem coincidentes, o processo parecerá parado. Se não der a referida coincidência, o processo parecerá avançar ou retroceder lentamente a uma frequência diferente da velocidade real do objeto.

Na Figura 10, a seguir, apresenta-se o diagrama elétrico clássico do circuito do estroboscópio. Esse circuito é constituído de alguns componentes elétricos passivos (resistores, capacitores e transformador) e alguns componentes ativos (diodos e SCR – *Silicon Controlled Rectifier*), além da lâmpada LED. Até pouco tempo, a lâmpada usualmente utilizada para a montagem era a de xenônio, porém ela não é proveitosa, visto que tem um custo mais elevado e uma vida útil relativamente pequena. Todos os componentes utilizados são de baixo custo, e a lâmpada e o circuito do estroboscópio serão alojados dentro do retroprojektor.

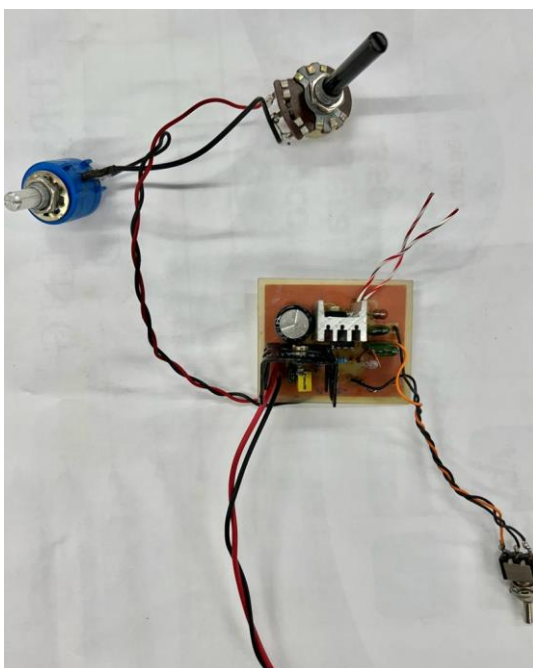
Figura 10 – Diagrama elétrico do estroboscópio utilizando LED de potência.



Fonte: A autora (2023).

Na Figura 11 a seguir, é possível observar a finalização do estroboscópio montado devidamente de acordo com o esquema do circuito demonstrado na figura anterior.

Figura 11 – Estroboscópio montado



Fonte: A autora (2023).

A figura 12 mostra a montagem do LED de potência fixado em seu lugar definitivo no interior do retroprojektor.

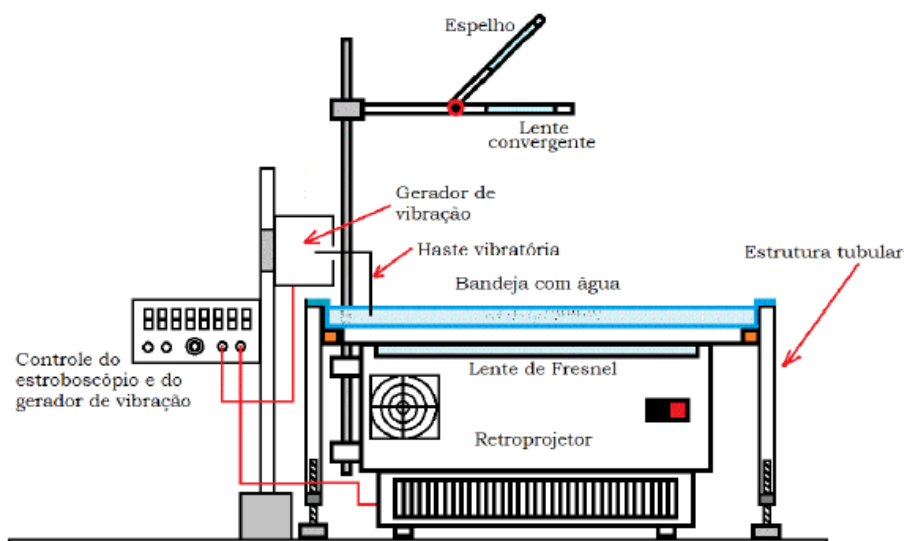
Figura 12 – Lâmpada LED utilizada que compõe o aparato conectado ao circuito do estroboscópio.



Fonte: A autora (2023).

A seguir, na Figura 13, apresenta-se o diagrama completo da cuba de ondas.

Figura 13 – Esquema completo da montagem da cuba de ondas



Fonte: A autora (2023).

3.4 Relação de experimentos a serem realizados com a cuba de ondas

Com a cuba de ondas montada, é possível observar os parâmetros de uma onda mecânica bidimensional que se propaga em um meio líquido por meio da realização dos seguintes experimentos⁷:

1. Ondas retas e circulares
2. Reflexão de ondas bidimensionais
 - a. Onda circular no anteparo reto;
 - b. Onda reta no anteparo reto;
 - c. Onda reta em anteparo curvo e côncavo;
 - d. Onda reta em anteparo curvo e convexo.
3. Refração de ondas bidimensionais com a superfície de separação entre os dois meios é plana.
4. Difração de onda bidimensional em obstáculos e fendas
5. Difração e interferência por fenda simples e fenda dupla
6. Efeito Doppler

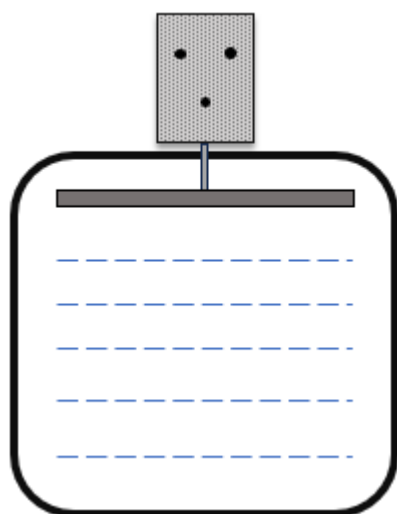
⁷ AZEHEB. **Manual de Instruções e Guia de Experimentos**. 2018.

PRESTON, D. W; Dietz, E. R. **The Art of Experimental Physics**. New York: John Wiley & Sons, 1991

4. RESULTADOS

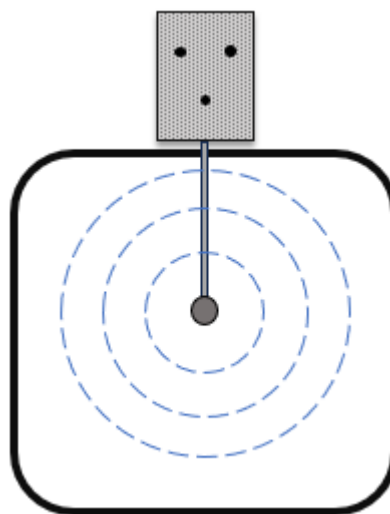
A partir da finalização da construção da cuba de ondas, foi possível verificar os seguintes fenômenos ondulatórios: reflexão, refração, difração, interferência e efeito Doppler. A seguir, será explicitado como é a montagem para cada fenômeno, mas, primeiramente, será observada a formação de ondas mecânicas circulares e retas após a montagem, exposta nas Figuras 14 e 15 a seguir. Para isso, foi necessário colocar, no gerador de oscilações, uma haste pontual e uma haste reta, respectivamente, a fim de formar ondas mecânicas. É importante ressaltar que o gerador é livre, e é possível ajustar a distância da haste.

Figura 14 – Esquema da formação de ondas retas pela haste reta.



Fonte: A autora (2023).

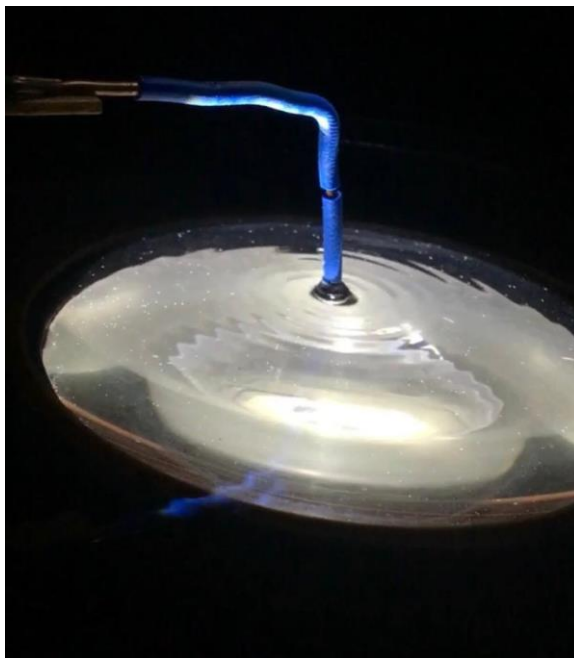
Figura 15 – Esquema da formação de ondas circulares pela haste pontual



Fonte: A autora (2023).

A seguir, na Imagem 4 exibe-se a formação das ondas mecânicas circulares formadas pelo gerador de oscilações com uma haste pontual sobre uma superfície de água.

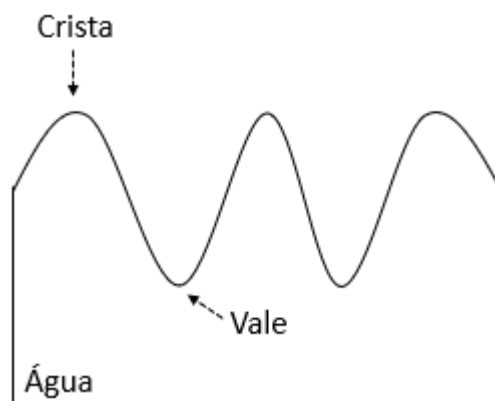
Imagem 4 – Ondas mecânicas circulares formadas pelo gerador de ondas



Fonte: A autora (2023).

Para representar como as ondas mecânicas formadas na cuba de ondas são vistas de perfil, tem-se a Figura 16 a seguir, na qual é possível perceber a crista e o vale.

Figura 16 – Representação das ondas formadas na superfície da água formando cristas e vales

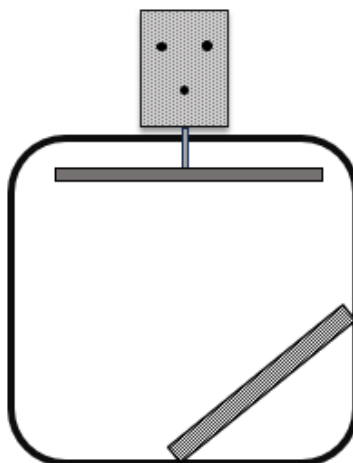


Fonte: A autora (2023).

4.1 Reflexão

O fenômeno de reflexão ocorre quando um pulso que se afasta do gerador de oscilações encontra um obstáculo (barreira refletora). Observando a Figura 18, verificam-se dois pulsos: um se aproximando, e o outro se afastando da barreira. Para a demonstração desse fenômeno na cuba de ondas, uma das maneiras é colocar uma haste plana no gerador de perturbações e incluir, na extremidade da bandeja que contém água, um anteparo reto inclinado. Essa inclinação do obstáculo pode ser alterada a fim de perceber como as ondas se comportam em diferentes situações.

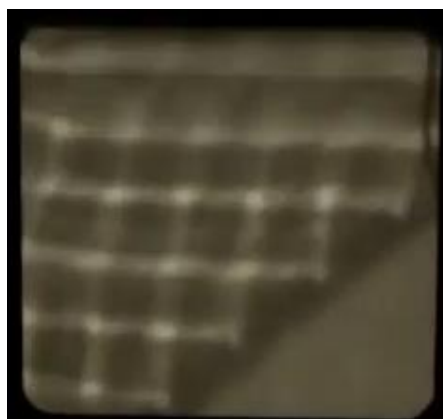
Figura 17 – Esquema da visão de cima da cuba de ondas para demonstrar a reflexão de ondas bidimensionais.
(Através de uma onda reta em anteparo reto)



Fonte: A autora (2023).

A imagem observada das ondas refletidas pode ser acompanhada na Imagem 5 a seguir:

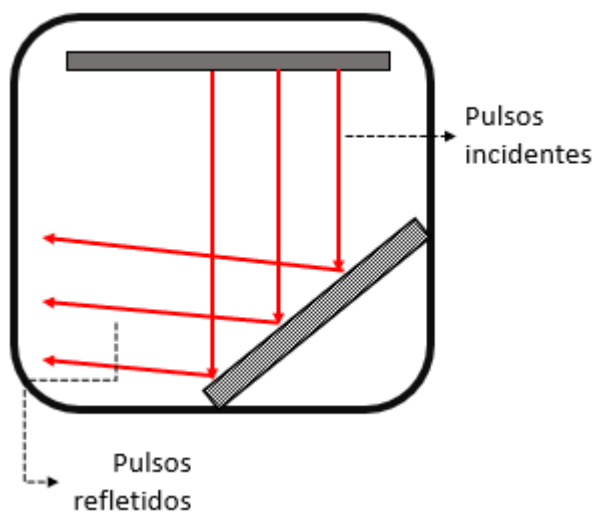
Imagem 5 – Ondas mecânicas bidimensionais sofrendo reflexão na cuba de ondas



Fonte: A autora (2023).

Esquemáticamente, o que ocorre, de fato, é explicado pela Figura 18 a seguir:

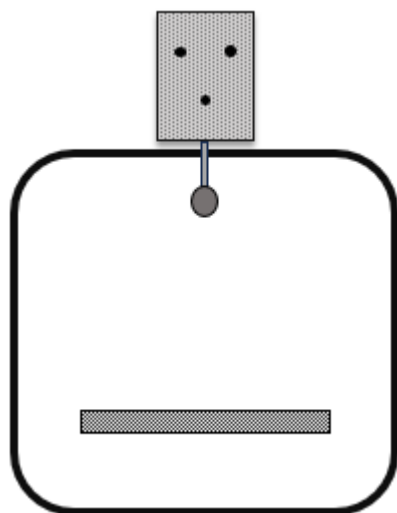
Figura 18 – Modelo esquemático das ondas mecânicas sofrendo reflexão



Fonte: A autora (2023).

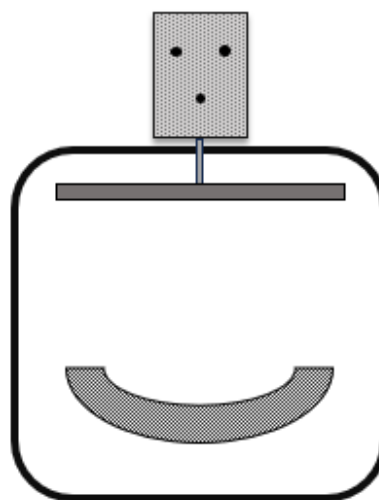
Conforme foi mencionado anteriormente, a reflexão tem outras maneiras de ser demonstrada pela cuba. A seguir, as Figuras 19, 20 e 21 representam como a montagem e a disposição do equipamento ficarão:

Figura 19 – Esquema da visão de cima da cuba de ondas para demonstrar a reflexão de ondas bidimensionais. (Onda circulares em anteparo)



Fonte: A autora (2023).

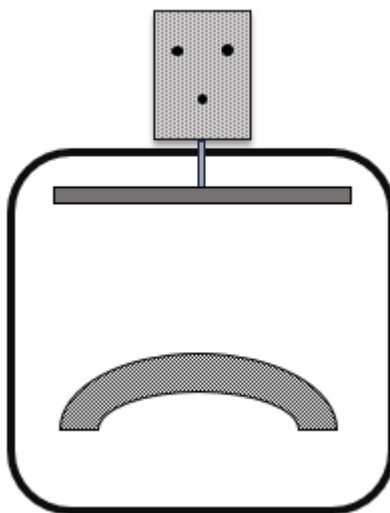
Figura 20 – Esquema da visão de baixo da cuba de ondas para demonstrar a reflexão de ondas bidimensionais (onda reta em anteparo côncavo)



Fonte: A autora (2023).

Figura 21 – Esquema da visão de cima da cuba de ondas para demonstrar a reflexão de ondas bidimensionais.

(Onda reta em anteparo curvo e convexo)



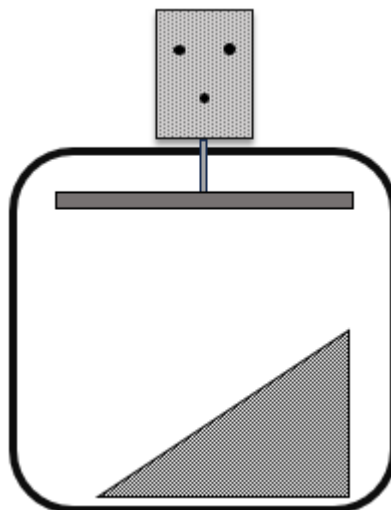
Fonte: A autora (2023).

4.2 Refração

O fenômeno de refração ocorre quando o meio de propagação da onda é alterado, já que a velocidade dessa propagação depende das propriedades do meio no qual as ondas se deslocam. Quando o meio é a água, a velocidade depende da profundidade, de modo que profundidades diferentes podem ser consideradas como meios distintos, demonstrando o que ocorre com ondas luminosas.

Na prática, em uma cuba de ondas a profundidade pode ser alterada quando se coloca uma placa de acrílico no fundo da cuba, por exemplo. Dispondo-se de uma placa transparente em uma posição oblíqua à frente de ondas, como ilustrado na Figura 22, verifica-se que as ondas mudam a sua direção de propagação ao passar da profundidade maior para a menor (ou vice-versa).

Figura 22 - Esquema da visão de cima da cuba de ondas para demonstrar a refração de ondas bidimensionais. (A superfície de separação entre os dois meios é plana)



Fonte: A autora (2023).

Na Imagem 6 a seguir, será possível visualizar como é a projeção das ondas mecânicas sofrendo refração, ou seja, sendo refratadas, por meio da cuba de ondas:

Imagem 6 – Ondas bidimensionais mecânicas sofrendo refração na cuba de ondas

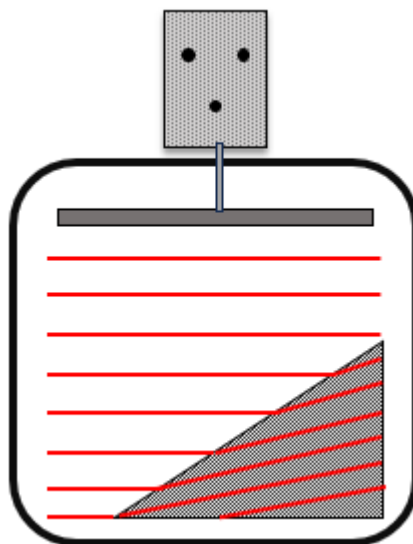


Fonte: A autora (2023).

De acordo com a imagem apresentada, é possível notar que, quando a onda encontra o meio acrílico que está mais raso, esta sofre um desvio, ou seja, muda sua direção de propagação, e seu comprimento de onda diminui em relação ao que ocorria no início. Além disso, percebe-se que a velocidade de propagação diminui, visto que a velocidade é diretamente proporcional ao comprimento de onda. É importante ressaltar que, por meio da projeção do que está

ocorrendo, os alunos constatarão, com facilidade, que a frequência permaneceu constante. Na Figura 23, a seguir, exibe-se um modelo esquemático das ondas sofrendo refração.

Figura 23 – Modelo esquemático das ondas mecânicas sofrendo refração

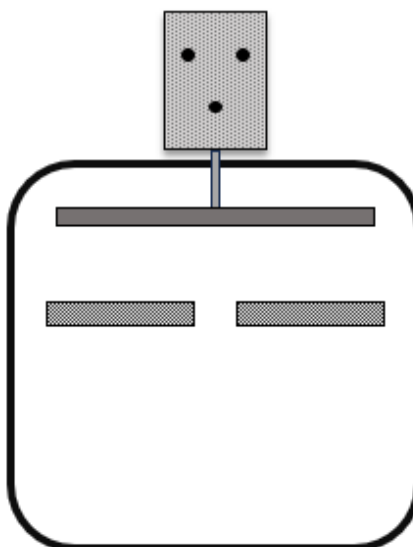


Fonte: A autora (2023).

4.3 Difração

Este fenômeno ondulatório ocorre quando ondas passam por uma fenda (é necessário que haja um espaçamento pequeno entre as fendas) ou encontram um obstáculo opaco, desviando-se. Na Figura 24, ilustra-se a montagem da cuba para representar o fenômeno:

Figura 24 - Esquema da visão de cima da cuba de ondas para demonstrar a difração de ondas bidimensionais por meio de uma fenda



Fonte: A autora (2023).

A Imagem 7, a seguir, representa como as ondas mecânicas planas formadas pela haste plana na superfície da água sofrem difração após passar por uma fenda.

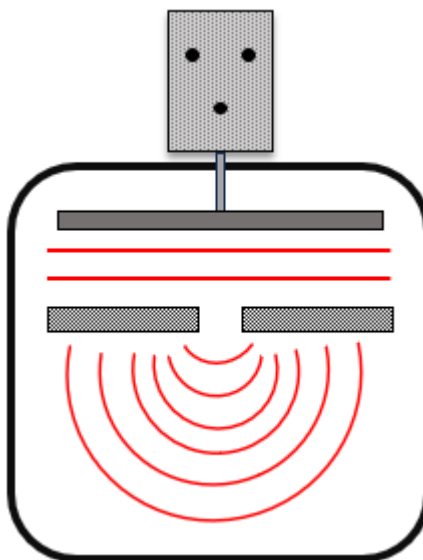
Imagem 7 – Ondas bidimensionais mecânicas sofrendo difração na cuba de ondas



Fonte: A autora (2023).

Esquemáticamente, o que é observado pelos alunos pode ser representado da seguinte maneira:

Figura 25 – Modelo esquemático das ondas mecânicas sofrendo difração

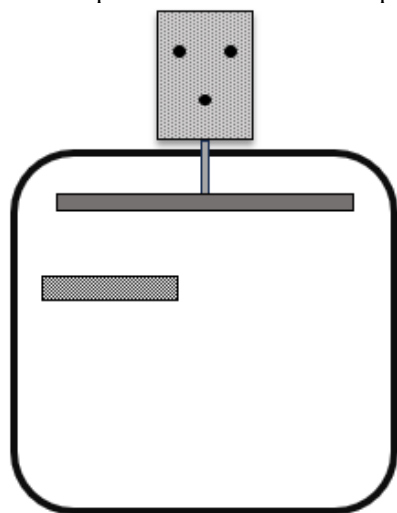


Fonte: Autor (2023).

Neste fenômeno ondulatório, há diversas maneiras de dispor os obstáculos planos, sendo uma delas a possibilidade de variar a distância entre eles, ou seja, a distância da fenda. Como resultado, verificam-se percepções distintas, como o fato de que as ondas são fortemente

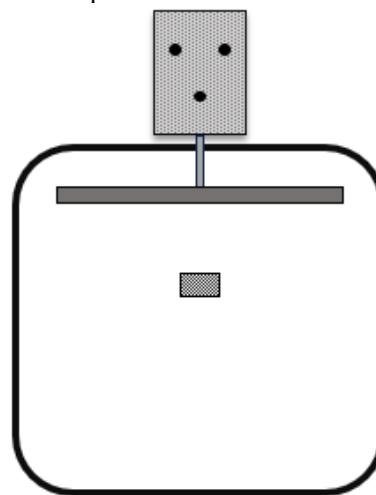
difratadas quando atravessam uma fenda estreita (de largura comparável a seu comprimento de onda) e que a difração é quase nula quando o comprimento de onda é muito pequeno em relação à largura da fenda. Além disso, podem ser colocados mais obstáculos, como mostram as Figuras 26 e 27, a seguir:

Figura 26 – Esquema da visão de cima da cuba de ondas para demonstrar a difração de ondas bidimensionais por meio de um obstáculo plano



Fonte: A autora (2023).

Figura 27 – Esquema de visão de cima da cuba de ondas para demonstrar a difração de ondas bidimensionais por meio de um obstáculo



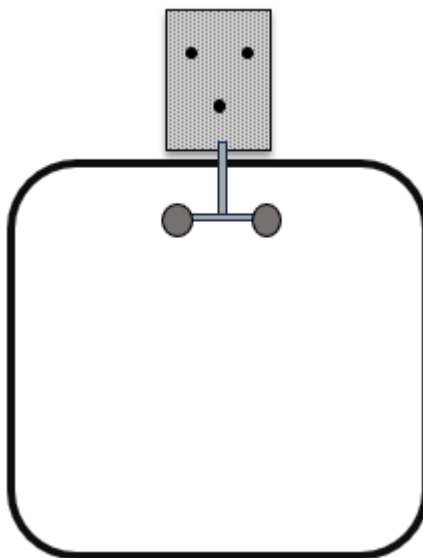
Fonte: A autora (2023).

4.4 Interferência

A interferência ocorre quando duas ondas interagem no mesmo meio e se encontram em algum ponto, havendo uma superposição de ondas.

Para demonstrar esse fenômeno, pode-se utilizar de uma haste pontual dupla, que resultará na formação de duas ondas circulares. Na Figura 28, ilustra-se como o fenômeno fica disposto na cuba de ondas:

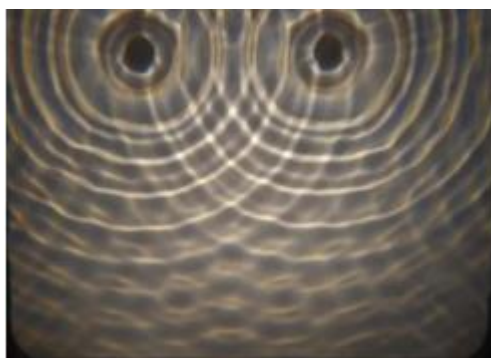
Figura 28 – Esquema da visão de cima da cuba de ondas para demonstrar a interferência de ondas bidimensionais por meio de uma haste pontual dupla



Fonte: A autora (2023).

Na Imagem 8, mostra-se o resultado após ligar o gerador de oscilações:

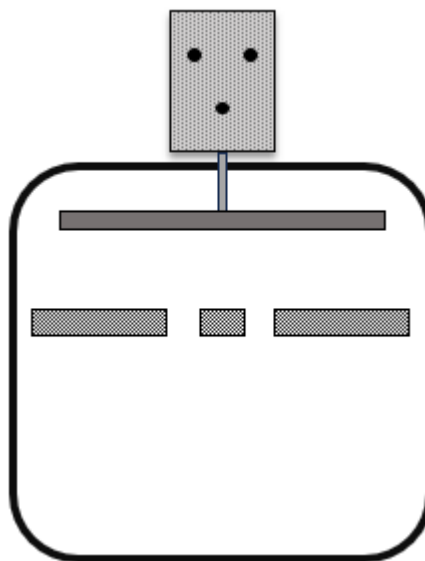
Imagem 8 – Ondas circulares sofrendo interferência



Fonte: A autora (2023).

Conforme revela a Figura 29 a seguir, é possível observar esse fenômeno ondulatório de diferentes maneiras com a disposição de objetos na cuba de ondas.

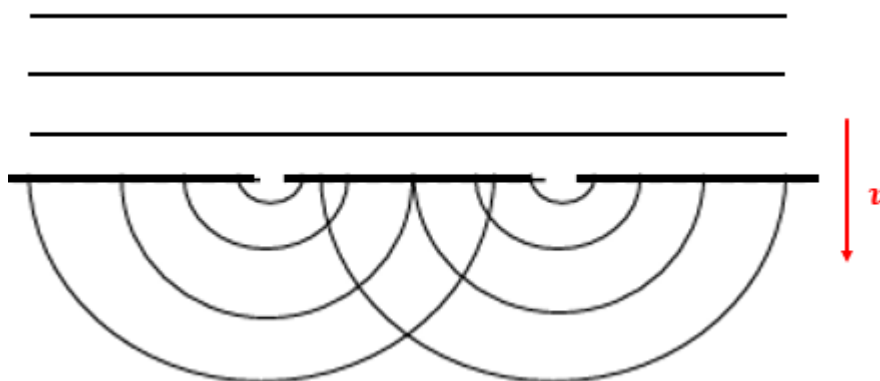
Figura 29 – Esquema da visão de cima da cuba de ondas para demonstrar a interferência de ondas bidimensionais por meio de duas fendas



Fonte: A autora (2023).

Após ligar o gerador de oscilações, pode-se observar que, ao passar pelas fendas, duas frentes de ondas circulares serão formadas devido à difração. Além disso, como elas são formadas pela mesma frente de ondas planas, as ondas circulares terão o mesmo comprimento de onda e estarão na mesma fase. Assim, a interferência dessas ondas pode formar regiões de nós e de ventres, como é possível perceber na Figura 30 a seguir:

Figura 30 – Ondas mecânicas planas sofrendo difração após passar por duas fendas e, consequentemente, sofrendo interferência entre si

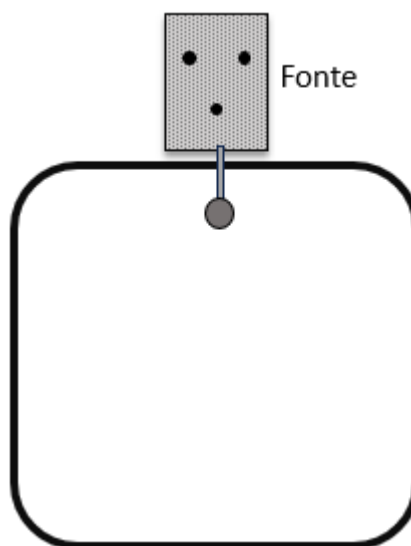


Fonte: A autora (2023)

4.5 Efeito Doppler

Para a demonstração desse fenômeno pela cuba de ondas, é necessário que a fonte seja livre a fim de se movimentar durante a formação de ondas. Para isso, como mostra a Figura 31 tem-se a seguinte disposição:

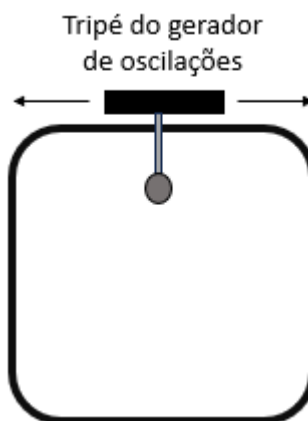
Figura 31 – Esquema da visão de cima da cuba de ondas para demonstrar o efeito Doppler de ondas bidimensionais



Fonte: A autora (2023).

Conforme a Figura 32, de maneira mais detalhada se constata como a fonte tem liberdade de se movimentar para a esquerda ou para a direita:

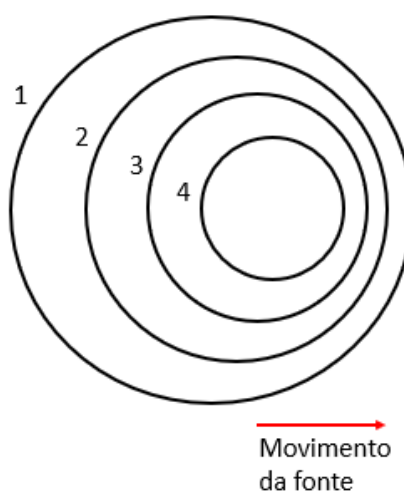
Figura 32 – Tripé do gerador de oscilações



Fonte: A autora (2023).

O tripé da fonte pode fazer movimento livremente na horizontal e, dessa maneira, poderá ser observado como as ondas se comportam quando sofre o efeito Doppler. A Figura 33 retrata a observação das ondas formadas quando a fonte se movimenta para a direita:

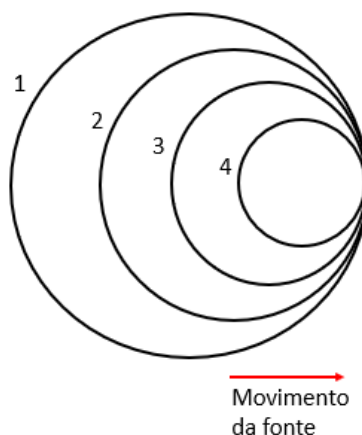
Figura 33 – Efeito Doppler quando a fonte se movimenta para a direita, com velocidade menor que a velocidade de propagação da onda



Fonte: A autora (2023).

Cada circunferência da figura acima é uma onda formada pela fonte (oscilador), e, neste caso, a velocidade dele é menor que a velocidade de propagação da onda. Porém, se a velocidade de movimento da fonte se igualar à da onda, tem-se a seguinte observação conforme mostrado na Figura 34.

Figura 34 – Efeito Doppler quando a fonte se movimenta para a direita, com velocidade igual à velocidade de propagação da onda



Fonte: A autora (2023).

CONCLUSÃO

Utilizar as propriedades das ondas mecânicas bidimensionais através de uma cuba de ondas contribui significativamente para o processo de ensino e aprendizagem em Ondulatória dos principais fenômenos ondulatórios.

Até o momento, nos experimentos realizados com a cuba de ondas construída, os autores puderam visualizar a projeção ampliada das ondas mecânicas produzidas pelo oscilador mecânico dos seguintes experimentos: reflexão, refração, interferência, difração e efeito Doppler; facilitando muito a compreensão dos mesmos fenômenos ópticos apresentados em sala de aula.

O experimento possui baixo custo e uma construção simples, podendo realmente ser desenvolvida por quaisquer professores interessados em melhorar a aprendizagem de seus alunos, através de demonstrações dos principais fenômenos ondulatórios presentes no curso de óptica geométrica.

No entanto, apesar da cuba de ondas ter apresentado resultados iniciais satisfatórios, também foram encontradas algumas dificuldades que afetaram o seu desempenho total, são elas: Reflexão de ondas nas paredes da cuba, gerador de oscilações mecânicas com baixa potência e a visualização do efeito Doppler. A primeira dificuldade foi resolvida com a adição de uma faixa de espuma com 2 mm de espessura e 30 mm de largura, inclinada de aproximadamente 20 graus por todo o perímetro interno da cuba de ondas. A solução da segunda dificuldade encontra-se em andamento, trata-se da construção de um oscilador mecânico com maior amplitude e maior potência. Quanto à visualização do efeito Doppler, ficará resolvido após a finalização do oscilador mecânico, por este efeito necessitar do deslocamento da haste que compõe o oscilador mecânico.

REFERÊNCIAS:

CARRIJO, I. L. M. Do professor “ideal”(?) de Ciências ao professor possível. **Ensino em Revista**, [S. l.], v. 4, n. (1, p.):65-71, jun./dez.1995.

GUIMARÃES, C. C. Experimentação no ensino de Química: caminhos e descaminhos rumo à aprendizagem significativa. **Química Nova na Escola**, n. 3, p. 198-202, 2009. Disponível em: https://cabecadepapel.com/sites/colecaoaiq2011/QNEsc31_3/08-RSA-4107.pdf. Acesso em: 13 jul. 2023.

LIMA, L. G. de. **A abstração no ensino e aprendizagem da física**: contribuições da teoria dos registros de representação semiótica na resolução de problemas. 2018. Tese (Doutorado em Educação) — Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/48/48134/tde-14122018-160748/publico/LUIS_GOMES_DE_LIMA_rev.pdf. Acesso em: 14 jul. 2023.

LUCKESI, C. C. Verificação ou avaliação: o que a escola pratica. *In*: LUCKESI, C. C. **Avaliação da aprendizagem escolar**. São Paulo: Cortez, 1995. p. 85-101.
MOREIRA, M. M. Desafios no ensino da física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S. l.], v. 43, n.1, p. e20200451, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/xpwKp5WfMJsfCRNFCxFhqLy/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 12 jul. 2023.

MOREIRA, M. M. Uma análise crítica do ensino de Física. **Estudos Avançados**, Rio Grande do Sul, v. 32, n. 94, p. 73-80, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/3JTLwqQNsfWPqr6hjzyLQzs/?format=pdf#:~:text=O%20ensino%20para%20a%20testagem,para%20respostas%20de%20curto%20prazo.&text=%C3%89%20%C3%B3bvio%20que%2C%20no%20contexto,Mas%20isso%20n%C3%A3o%20acontece.> Acesso em: 12 jul. 2023.

PILETTI, C. **Filosofia da educação**. São Paulo: Ática, 1995.

SILVA, J. M. A. da. **As dificuldades enfrentadas por estudantes do ensino médio na aprendizagem da física**. Anais VI CONEDU... Campina Grande: Realize Editora, 2019. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/59212>. Acesso em: 16 jul. 2023.

VEIT, E. A; TEODORO, V. D. Modelagem no Ensino/Aprendizagem de Física e os Novos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S. l.], v. 24, n. 2, p. 87-96, jun. 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/NjZPGDLdySCDR5zMnYDp9Wh/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 12 jul. 2023.

SOLÉ, I. **Estratégias de leitura**. Porto Alegre: ArtMed, 1998.

VYGOTSKIY, L. S. **Pensamento e Linguagem**. Tradução de Jefferson L. Camargo. São Paulo: Martins Fontes, 1987.

_____. **A formação social da mente**. Traduzido do Grupo de Desenvolvimento e Ritmos Biológicos - Departamento de Ciências Biomédicas - USP. 4. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1991.