

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA – SUDESTE
DE MINAS GERAIS
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

O TEATRO CIENTÍFICO COMO ALTERNATIVA METODOLÓGICA NO ENSINO
DE FÍSICA PARA A APRENDIZAGEM DO CONTEÚDO DE OSCILAÇÕES E
ONDAS

FABIANA CHIAINI DE OLIVEIRA ALMEIDA

Juiz de Fora

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA – SUDESTE
DE MINAS GERAIS
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

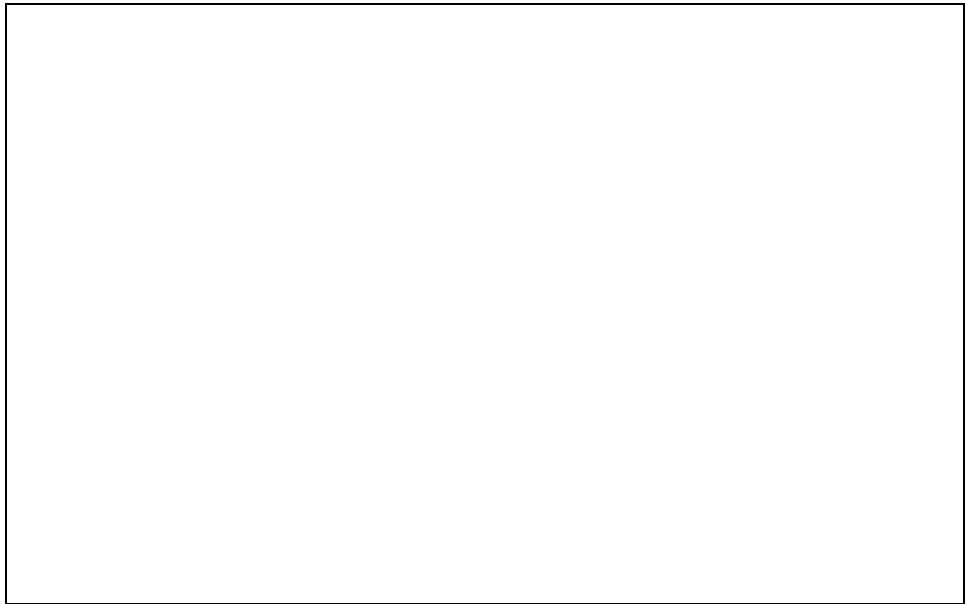
O TEATRO CIENTÍFICO COMO ALTERNATIVA METODOLÓGICA NO ENSINO DE
FÍSICA PARA A APRENDIZAGEM DO CONTEÚDO DE OSCILAÇÕES E ONDAS

FABIANA CHIAINI DE OLIVEIRA ALMEIDA

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

Orientador: Prof. Dr. José Roberto Tagliati

Juiz de Fora
2017



FOLHA DE APROVAÇÃO

O TEATRO CIENTÍFICO COMO ALTERNATIVA METODOLÓGICA NO ENSINO DE
FÍSICA PARA A APRENDIZAGEM DO CONTEÚDO DE OSCILAÇÕES E ONDAS

FABIANA CHIAINI DE OLIVEIRA ALMEIDA

Orientador: José Roberto Tagliati

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação (Universidade Federal de Juiz de Fora) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em: 13/02/2017.

Prof. Dr. José Roberto Tagliati - orientador

Prof. Dr. Paulo Henrique Dias Menezes

Prof. Dr. Emanuel José Reis de Oliveira

Dedico esta dissertação ao Webert, meu companheiro e amor leal de uma vida.

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial aos meus pais Valeria e Neio que sempre me motivaram e me ofereceram todo o suporte para que minhas realizações fossem possíveis.

Ao meu orientador, que exerce sua profissão com excelência, Prof. José Roberto Tagliati, pela dedicação, carinho e atenção com que me guiou nesse trabalho.

Aos professores desse programa de mestrado, que com muita competência me forneceram os subsídios necessários à confecção dessa dissertação.

Aos amigos, que ao longo dessa jornada me ajudaram a vencer dificuldades.

À CAPES, pelo apoio financeiro concedido pela bolsa de estudos.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo despertar o interesse de alunos do ensino médio para o conteúdo de oscilações e ondas, em particular abordando o fenômeno da ressonância. Buscamos desenvolver bases sólidas para uma aprendizagem mais efetiva no referido conteúdo, induzindo a percepção da importância da correlação entre disciplinas escolares e o exercício da cidadania. Para tanto, utilizamos um recurso inerente a todo e qualquer ser humano, onde quer que esteja: seus sentimentos, suas vontades, seus anseios, que a todo o momento necessitam se manifestar, tomar forma. Uma dessas formas é a arte, mais especificamente as artes cênicas, assunto sobre o qual nos debruçamos à luz de grandes expoentes na área como Augusto Boal, Bertold Brecht, dentre outros, que nos serviram de referência. Levamos assim a encenação teatral à sala de aula como uma alternativa metodológica para o ensino de física, abordando o conteúdo de oscilações e ondas. Visamos assim buscar um ensino incorporado à atividade cidadã e à análise crítica, com o intuito de motivar e despertar para o conhecimento científico, os alunos e as comunidades envolvidas. Também nos apoiamos na chamada pedagogia progressista, surgida nos Estados Unidos, na década de 1920, com John Dewey, e que se tornou a essência do trabalho de Paulo Freire no Brasil. A aplicação de uma avaliação tradicional, com questões de múltipla escolha e discursivas, foi utilizada para medir o índice de aproveitamento dos estudantes no conteúdo ministrado nessa investigação. Os resultados obtidos tanto no comportamento dos estudantes em sala de aula, quanto nas respostas expostas na avaliação foram satisfatórios sob o ângulo de nossas expectativas, ou seja, os estudantes respondem de forma crítica e consciente quando percebem sentido nas estratégias de aprendizagem nas quais estão envolvidos. Por conseguinte, conseguem atrelar os conteúdos às suas vidas, permitindo assim que a aprendizagem ocorra de forma mais efetiva e palpável. Esperamos assim que este trabalho possa servir de modelo a ser utilizado por outros professores e que ações como essas possam ser implementadas de forma mais sistemática nas escolas.

Palavras - chave: Teatro Científico. Ensino de Física. Ressonância. Cidadania.

ABSTRACT

The present study aimed to call high school students' interest to the learning of oscillations and waves, particularly considering the phenomenon of resonance. We seek to develop a solid study for a more effective learning about such content, leading to the perception of the importance of the correlation between school subjects and the exercise of citizenship. Therefore, we use a feature inherent to every human beings, wherever they are: their feelings, their wishes, their desires, that always need to appear; to take shape. One of these ways is the art, specifically the performing arts, a subject about which we have been reflecting, through the light of the great exponents in the area, as Augusto Boal, Bertolt Brecht, among others, who were great reference to us. This way, we have been taking the theatrical performance to the classroom as a methodological alternative to the teaching of Physics, approaching the contents of oscillations and waves. We aim thus to seek for a kind of teaching, which is incorporated into the civic activity and critical analysis, in order to motivate and call the attention of the students and the communities involved to the scientific knowledge. We also have, as a support, the so-called progressive pedagogy, which emerged in the United States in the 1920s, with John Dewey, and which became the essence of Paulo Freire's work in Brazil. The application of traditional evaluation, with multiple choice questions and essay ones, was used to measure the utilization rate of students, regarding the content taught in this investigation. The results obtained, both, in the behavior of students in the classroom, and in the exposed evaluation responses, were satisfactory from the standpoint of our expectations, that is, students respond critically and consciously when they realize there is sense in the learning strategies in which they are involved. Therefore they can link the subject content to their lives, and this allows learning to occur in a more effective and tangible way. We hope that this work serves as a model to be used by other teachers and that actions such as these can be implemented more systematically in schools.

Key-words: Scientific Theatre. Physical Teaching. Resonance. Citizenship.

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| | INTRODUÇÃO | 12 |
| 1 | REFERENCIAL TEÓRICO | 15 |
| 2 | O TEATRO CIENTIFICO E SUA DIFUSÃO NO BRASIL | 25 |
| 3 | METODOLOGIA | 30 |
| | 3.1 Motivação para escolha do tema | 30 |
| | 3.2 Motivação para escolha do método | 31 |
| | 3.3 A sequência Didática | 32 |
| | 3.4 Levantamento do nível de aprendizagem | 33 |
| 4 | RESSONÂNCIA: ANCORAGEM PARA ABORDAGEM DE OSCILAÇÕES E ONDAS | 34 |
| | 4.1 Conceitos fundamentais | 34 |
| | 4.2 Movimento Harmônico Simples (MHS) e sua analogia com o Movimento Circular Uniforme (MCU) | 35 |
| | 4.3 O Pêndulo Simples | 38 |
| | 4.4 Oscilações Amortecidas | 39 |
| | 4.5 Oscilações Forçadas e Ressonância | 40 |
| | 4.6 Ressonância magnética nuclear | 42 |
| | 4.7 Representação de uma onda e suas características | 44 |
| 5 | RELATO DA APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA | 46 |
| | 5.1 O recrutamento dos interessados, os ensaios e encenações do diálogo | 46 |
| | 5.2 Exibição dos vídeos | 47 |
| | 5.3 Discutindo o conteúdo utilizando questões do ENEM | 53 |
| 6 | ANÁLISE DE RESULTADOS | 55 |

| | |
|---|-----------|
| CONSIDERAÇÕES FINAIS | 59 |
| REFERÊNCIAS | 61 |
| Apêndice A – Questionário | 64 |
| Apêndice B - Diálogo a ser encenado..... | 65 |
| Apêndice C - Questões de exames de seleção | 68 |
| Apêndice D - Avaliação final | 70 |
| Apêndice E – Sequência didática fundamentada no teatro científico para auxílio na aprendizagem do conteúdo de oscilações e ondas | 72 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-------------|--|----|
| Figura 1 - | Esquema representativo das Técnicas de Teatro do Oprimido. | 23 |
| Figura 2 - | Teatro de Tábuas..... | 27 |
| Figura 3 - | José Celso Martinez em Galileu Galilei (1968) | 28 |
| Figura 4 - | Denise Fraga no papel de Galileu | 28 |
| Figura 5 - | Variações das garandezas físicas no decorrer da oscilação | 35 |
| Figura 6 - | Sombra de um objeto em movimento circular uniforme projetada em um plano vertical | 36 |
| Figura 7 - | Vista superior do Movimento Circular | 37 |
| Figura 8 - | Movimento do Pêndulo Simples projetado em um plano | 38 |
| Figura 9 - | Prótons de Hidrogênio antes da ação do campo externo | 43 |
| Figura 10 - | Prótons de Hidrogênio após a ação do campo externo | 43 |
| Figura 11 - | Movimento de Precessão causado pelo campo externo | 43 |
| Figura 12 - | Elementos de uma onda | 44 |
| Figura 13 - | Contato inicial, para explicação da proposta e aplicação do questionário | 47 |
| Figura 14 - | Relação entre movimentos oscilatórios e ondas | 47 |
| Figura 15 - | Ondas sonoras se propagando na água | 48 |
| Figura 16 - | Ondas sonoras em placas com sal, formando figuras diferentes conforme variação da frequência | 48 |
| Figura 17 - | Ondas em uma corda | 48 |
| Figura 18 - | Propriedades ondulatórias da luz | 49 |
| Figura 19 - | Aluno encenando o diálogo | 49 |
| Figura 20 - | Aluna encenando o diálogo | 50 |
| Figura 21 - | Aluno encenando o diálogo | 50 |
| Figura 22 - | Aluno encenando o diálogo | 51 |
| Figura 23 - | Aula expositiva correlacionando os vídeos e o os diálogos ao conteúdo propriamente dito | 51 |
| Figura 24 - | Dinâmica para exemplificar ondas transversais | 52 |
| Figura 25 - | Dinâmica para exemplificar ondas transversais | 52 |
| Figura 26 - | Dinâmica para exemplificar ondas longitudinais | 53 |
| Figura 27 - | Resposta de um aluno à questão 3 do questionário – Aluno X .. | 54 |

| | |
|---|-----------|
| Figura 28 - Resposta de um aluno às questões 1, 2 e 3 do questionário - Aluno Y | 55 |
| Figura 29 - Resposta de um aluno às questões 3, 6 e 7 do questionário – Aluno Z | 56 |
| Figura 30 - Questão 4 | 57 |
| Gráfico 1 - Amplitude de oscilação em função da relação entre frequência da força propulsora e frequência natural de oscilação | 41 |
| Gráfico 2 - Número de acertos em cada uma das questões de múltipla escolha em relação ao total de alunos participantes | 56 |
| Gráfico 3 - Número de acertos em cada um dos itens da questão discursiva em relação ao total de alunos participantes | 57 |
| Tabela 1 - Tempos de relaxação T1 e T2 aproximados para diversos tecidos do corpo humano a 1,5T | 44 |

INTRODUÇÃO

Sou oriunda de uma família de professores em sua maioria, incluindo meus pais, o que de uma forma ou outra me motivou na escolha de um curso de licenciatura. A escolha pelo curso de Física surge de uma paixão pela disciplina desde o primeiro ano do ensino médio, momento a partir do qual recebi muitos incentivos dos meus professores nesse sentido.

Recebi meu título de graduação em licenciatura em Física, em dezembro do ano de 2008, ingressando alguns meses depois no ensino público estadual, oportunidade na qual pude por à prova as habilidades desenvolvidas na graduação, em constante exercício de adaptação à realidade escolar. Enfrentei muitas dificuldades, que até então desconhecia como: situação precária de algumas comunidades, a falta de investimento dos governos em educação, o excesso de trabalho e a falta de condições para realiza-lo em muitas escolas, além das baixas remunerações em educação nas esferas municipal e estadual, em geral.

Apesar de tudo isso e de um certo descompasso próprio da inexperiência, permaneci lecionando, motivada pelo desejo de me aprimorar, de melhorar a vida das pessoas por meio da educação, e pela satisfação de enriquecer a minha experiência de vida ao conhecer as vivências que os alunos trazem consigo, tanto a respeito da Física quanto das ideias que têm do mundo, de si mesmos e dos outros, o que ocasiona uma troca significativa, que só a docência proporciona de maneira efetiva. Como preconiza Paulo Freire:

Quando saio de casa para trabalhar com os alunos, não tenho dúvida nenhuma de que, inacabados e conscientes do inacabamento, abertos à procura, curiosos, ‘ programados, mas, para aprender’ exercitaremos tanto mais e melhor a nossa capacidade de aprender e de ensinar quanto mais sujeitos e não puros objetos do processo nos façamos (FREIRE, 1996, p. 65).

Todo esse contexto traz à tona a necessidade de adotarmos posturas diferenciadas que nos auxiliem diante de mudanças e desafios constantes, razão pela qual busquei esse programa de mestrado.

Fazendo uma análise das metodologias de ensino utilizadas na escola desde o seu surgimento até os dias pude perceber um quadro de estagnação e uma forte resistência até mesmo por parte de colegas, a novas formas de abordagem dos conteúdos curriculares.

Conforme descrevi, podemos observar na escola alguns fatores que considero contribuir para isso, como por exemplo: professores de outras áreas lecionando Física; más condições de trabalho; baixos salários; falta de capacitação; falta de infraestrutura adequada.

Nota-se um cenário antagônico quando nos pautamos nas orientações dos Parâmetros Curriculares Nacionais, segundo os quais:

O tratamento contextualizado do conhecimento é um dos recursos que a escola dispõe para retirar o aluno da condição de espectador passivo. Se bem trabalhado permite que, ao longo da transposição didática, o conteúdo do ensino provoque aprendizagens significativas que mobilizem o aluno e estabeleçam entre ele e o objeto do conhecimento uma relação de reciprocidade. A contextualização evoca por isso áreas, âmbitos, ou dimensões presentes na vida pessoal, social e cultural, e mobiliza competências cognitivas já adquiridas (BRASIL, 1999, p.91).

Para que essa contextualização ocorra, promovendo uma aprendizagem efetiva, é necessário inovar, tornando a participação discente mais ativa, além de se adequar à sociedade atual repleta de novas informações, novas tecnologias e em constante mudança.

Diante dessas ponderações, são válidas ideias que vêm surgindo no âmago da proposta chamada Escola Progressista, inspirada nas ideias de Paulo Freire, com vistas à análise crítica da realidade sociopolítica, na direção de uma formação cidadã. Esse tipo de proposta clama por novos olhares e novas ações que busquem a essência humana expressa em suas emoções e anseios. Nesse sentido, acreditamos que a manifestação artística seja muito profícua.

O presente trabalho tem como meta, despertar o interesse dos educandos e mobilizá-los por meio da arte aliada à ciência, mais especificamente as artes cênicas, o que se denomina teatro científico, muito bem representado nas metodologias do Teatro do Oprimido de Augusto Boal (diretamente ligado à concepção de educação de Paulo Freire) e no Teatro Didático de Bertold Brecht. Trata-se de uma nova perspectiva no tocante às metodologias de ensino, a qual já vem sendo difundida por alguns grupos de teatro de divulgação científica e apresentando resultados satisfatórios no que diz respeito à aceitação, motivação e melhor compreensão dos temas abordados por parte dos educandos. Tais considerações e constatações são tratadas no artigo “O Teatro Científico no Brasil e o Ensino de Física” (BATISTA et. al., 2009). Como exemplos desse movimento podemos citar: Grupo de Teatro Estação Ciência (USP, São Paulo); A Seara da Ciências (Universidade Federal do Ceará) e Arte Ciência no Palco (Cooperativa Paulista de Teatro).

As razões do sucesso dessas iniciativas são pontuadas por estudiosos do assunto como Olga Reverbel, Richard Courtney, Ingrid Koudela, dentre outros.

Segundo Olga Reverbel (1989), surge na infância a necessidade de brincar, jogar, pensar, comparar, compreender, perceber, sentir; ou seja, interagir com o mundo para construir o conhecimento e a socialização.

Courtney (2006), em suas pesquisas conclui que a imaginação dramática é a propulsora da criatividade humana, promovendo a aprendizagem significativa, por confrontar os problemas reais com as alterações mentais necessárias para solucioná-los.

Sob a ótica do Teatro do Oprimido, a proposta nos parece ainda mais fascinante, pois permite a simulação que propõe soluções para situações de vida reais, tornando os atores protagonistas de sua própria história, protagonistas das transformações sociais, conforme será detalhado no capítulo destinado a descrever a metodologia utilizada.

Nessa concepção, o teatro aplicado à educação de crianças e adolescentes nos parece, dentre as manifestações artísticas, a alternativa mais viável às exigências de uma educação mais consciente, realista, humanista e, portanto, efetivamente cidadã.

De modo a discorrer sobre como utilizar a arte dramática para o ensino de Física, e de Ciências em geral, estruturamos essa dissertação da seguinte forma: no capítulo 1 desenvolvemos nosso referencial teórico, no qual assentamos as bases nas quais nos apoiamos para defender nossa proposta; no capítulo 2 fazemos um breve apanhado de como surgiu o Teatro Científico e das experiências ocorridas no Brasil, no capítulo 3 fornecemos as bases físicas e matemáticas para desenvolvimento do conteúdo escolhido; no capítulo 4 descrevemos a metodologia utilizada em todo o decorrer do trabalho, e no capítulo 5 é feita a avaliação dos resultados obtidos após essa intervenção.

O trabalho foi realizado na Escola Estadual Nyrce Villa Verde Coelho de Magalhães, na cidade de Juiz de Fora, com alunos do 3^o ano do Ensino Médio.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

A base de nossa atuação esta alicerçada na Pedagogia Progressista, cuja origem remonta a proposta educacional de John Dewey, educador norte americano, um dos primeiros a difundir a educação como forma de transformação social, através da análise crítica da realidade e da participação ativa dos discentes no meio em que vivem:

A defesa [...] da educação por meio de atividades construtoras contínuas, estriba-se no fato de que elas abrem ensejo para restabelecer-se um ambiente social. Em vez de uma escola localizada separadamente da vida como lugar para se estudarem lições, teremos uma sociedade em miniatura, na qual o estudo e o desenvolvimento sejam os incidentes de uma experiência comum (DEWEY, 1979, p.394).

Dewey considerava que o processo educacional é apoiado sobre dois pilares básicos: a democracia e a experiência. Combatia veementemente os moldes tradicionais da educação:

Não se pode negar que as escolas – em sua maior parte – dedicaram-se à difusão da informação “feita” e ao ensino dos instrumentos da leitura. Os métodos usados para adquirir tal informação não são os que desenvolvem capacidade de exame e de comprovação de opiniões. Pelo contrário, são positivamente hostis a isto. Tendem a embotar a curiosidade nativa e a sobrecarregar os poderes de observação e experimentação com tal massa de material desrelacionado, que eles nem sequer operam com a efetividade que se encontra em muitos iletrados (DEWEY, 1970, p. 236).

Dewey em seus argumentos remonta a ideia de educação sob a ótica de Kant, segundo a qual o conhecimento por si só não é uma aquisição significativa, a não ser que seja aplicável às práticas científicas e sociais, conforme percebemos no trecho de seu livro “Sobre a Pedagogia”:

O homem precisa da formação *escolástica*, ou da instrução para estar habilitado a conseguir todos os seus fins. Essa formação lhe dá um valor em relação a si mesmo, como um indivíduo. A formação da *prudência*, porém, o prepara para tornar-se um cidadão uma vez que lhe confere um valor público. Desse modo ele aprende tanto a tirar partido da sociedade civil para seus fins como a conformar-se à sociedade. Finalmente a formação *moral* lhe dá um valor que diz respeito à inteira espécie humana (KANT, 2006, p. 35).

Na visão de Kant, portanto, educar possui um sentido amplo que se apoia em três bases de formação: a escolástica, que se refere aos conhecimentos; a da prudência, também denominada por ele de formação *pragmática*, em que se aplicam os conhecimentos na vida em sociedade, e a formação moral, que trata da própria moralidade no sentido da noção de certo e errado.

Destacaremos aqui a formação pragmática, que influenciou os trabalhos de Dewey como podemos constatar em seu artigo “O desenvolvimento do pragmatismo americano”:

Diz-se frequentemente do pragmatismo que faz da ação a finalidade da vida. Diz-se também do pragmatismo que subordina o pensamento e a atividade racional a fins particulares de interesse e lucro. É verdade que a teoria, de acordo com a concepção de Peirce, implica essencialmente certa relação com a ação, com a conduta humana. Mas o papel da ação é o de um intermediário. Para ser capaz de atribuir um significado aos conceitos, uma pessoa deve ser capaz de aplicá-los à existência. Ora, é por meio da ação que essa aplicação é tornada possível. E a modificação da existência que resulta dessa aplicação constitui o verdadeiro significado dos conceitos. O pragmatismo está, portanto, longe de ser aquela glorificação da ação por si mesma, o que é considerado como a característica peculiar da vida americana (DEWEY, 2007, p. 227)¹.

Esse ideal chega e difunde-se pelo Brasil principalmente pelas mãos de Anísio Teixeira, que segundo Pagni (2000) tivera a oportunidade de ser aluno do próprio John Dewey, em curso de Ciências da Educação, na Columbia University nos Estados Unidos da América, no final da década de 1920.

Ao retornar ao Brasil Anísio Teixeira, que ocupara em 1924 o cargo de Inspetor Geral do Ensino, em Salvador e já conhecia as mazelas do sistema educacional público, traz consigo o anseio de promover uma reforma educacional no país, divulgando as obras de Dewey no Brasil desde então.

Mais tarde, em 1931, assumiu o cargo de diretor da Instrução Pública do Distrito Federal e pouco depois o de Secretário da Educação do Distrito Federal, criando um programa de educação pública que ia do pré-escolar ao ensino superior; ensino que tinha como guia teórico o pragmatismo deweyano.

Conforme escreve Clarice Nunes (2010), Teixeira operacionalizou uma política e criou a pesquisa educacional no país. Propôs a criação de um partido que tivesse a função de difundir a cultura e o esclarecimento público sobre problemas brasileiros e de apresentar soluções.

Ainda segundo Clarice Nunes (2010), Anísio Teixeira, contou com um grande número de colaboradores das mais distintas vertentes ideológicas, dentre eles, Darcy Ribeiro, Lourenço Filho (1897-1970) e Fernando de Azevedo (1894 -1974), junto com os quais foi autor do “Manifesto dos pioneiros da Escola Nova” de 1932. De acordo com Cândido Alberto Gomes (2010) o documento foi um grande divisor de águas; é atual até os dias de hoje, tratava

¹ Esta tradução foi feita a partir de Dewey, 1981 [1931]. Entretanto, o texto foi publicado originalmente em francês em 1922 e em uma primeira versão inglesa, traduzida do francês, em 1925. Passou depois a fazer parte do livro *Filosofia e civilização* (Philosophy and civilization), publicado em 1931.

a educação como um direito de todos indistintamente, sem nenhum tipo de segregação, inclusive de gênero (isto é, fazendo a coeducação de meninos e meninas). Exigia uma escola pública, laica, obrigatória, gratuita e financiada pelo Estado que operasse uma reconstrução educacional do Brasil, em lugar de ações e projetos paliativos.

As escolas primárias, técnicas, secundárias e o ensino de adultos se expandiram e melhoraram sua qualidade. O professor primário foi valorizado e, pela primeira vez tinha a possibilidade de uma formação em nível superior na então recém-criada Universidade do Distrito Federal, fazendo com que a educação viesse a se tornar uma área de conhecimento e estudo acadêmico.

Certamente seu trabalho sofreu inúmeras tentativas de obstrução, principalmente na Era Vargas, em que foi perseguido pela ideologia fascista dominante no país e por isso foi demasiadamente injustiçado, criticado e viu serem distorcidas suas propostas, como transparece Darcy Ribeiro no depoimento:

Anísio Teixeira é o pensador mais discutido, mais apoiado e mais combatido do Brasil. Ninguém como ele provoca a admiração de tantos. Ninguém é também tão negado e tem tantas vezes o seu pensamento deformado. [...] Suas teses educacionais se identificam tanto com os interesses nacionais e com a luta pela democratização de nossa sociedade que dificilmente se admitiria pudessem provocar tamanha reação num país republicano (RIBEIRO, 1960, p.230).

Não por acaso, aparece aqui a figura de Darcy Ribeiro, que teve sua trajetória muito ligada à de Anísio e uma transformadora participação ativa nos rumos educacionais do país, tanto que a Lei n. 9.394 de 20 de dezembro de 1996, Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (BRASIL, 1996), base para a criação dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN's), foi intitulada Lei Darcy Ribeiro, por ser ele um dos seus principais idealizadores.

Conforme relata Cândido Alberto Gomes (2010), Darcy nasceu em Montes Claros, MG, em 1922, completou a educação primária e secundária na cidade natal, chegou a frequentar a faculdade de Medicina em Belo Horizonte em 1939, para atender um desejo de sua mãe. Em seguida transferiu-se para São Paulo e matriculou-se na Escola Livre de Sociologia e Política, lá se graduando no ano de 1945, em Ciências Sociais, com especialização em Antropologia, tornando-se mestre logo em seguida, em 1947 e finalmente doutor em Ciências Sociais na Universidade de Chicago. Mais tarde tornou-se ativista do Partido Comunista em São Paulo, deixou o Partido para tornar-se antropólogo, indigenista e educador. Tinha um perfil comprometido com o engajamento político e social e por isso passou a atuar na política, ocupou altos cargos públicos, foi para o exílio e retornou ao Brasil,

retomando a política em seu último cargo público como senador, em 1997, ano de seu falecimento.

Esses 75 anos foram vividos de forma intensa e apaixonada, conforme expresso em suas palavras:

Sou um homem de causas. Vivi sempre pregando e lutando, como um cruzado, pelas causas que me comovem. Elas são muitas, demais: a salvação dos índios, a escolarização das crianças, a reforma agrária, o socialismo em liberdade, a universidade necessária. Na verdade, somei mais fracassos que vitórias em minhas lutas, mas isto não importa. Horrível seria ter ficado ao lado dos que nos venceram nessas batalhas (RIBEIRO, 1995, p. 263).

Nesse contexto nasce então a semente para o surgimento das diretrizes educacionais. A partir do ano de 1997, passam a vigorar no país os Parâmetros Curriculares Nacionais, que norteiam as ações pedagógicas de professores e instituição de ensino até os dias atuais. Esses parâmetros têm por finalidade promover uma educação contextualizada, capaz de fornecer aos educandos ferramentas de transformação social.

Mais especificamente em relação ao ensino de física, surge uma visão reformadora dos paradigmas que tratam a disciplina como algo inatingível e dissociada da realidade, conforme o trecho dos PCNs:

Passar a tratar a Física como parte da cultura contemporânea abre, sem dúvida, uma interface muito expressiva do conhecimento em Física com a vida social, seja através da visita a museus, planetários, exposições, centros de ciência, seja por meio de um olhar mais atento a produções literárias, peças de teatro, letras de música e performances musicais. Cada vez mais elementos do mundo científico, sua linguagem e principalmente a visão de mundo que o traduz estão presentes num amplo conjunto de manifestações sociais. Da mesma forma, as questões relativas ao desenvolvimento tecnológico e ao desenvolvimento econômico, em diferentes níveis, acompanham o dia-a-dia da vida contemporânea e frequentemente podem ser analisadas na perspectiva do conhecimento científico. E esse sentido emerge na medida em que o conhecimento de Física deixa de constituir um objetivo em si mesmo, mas passa a ser compreendido como um instrumento para a compreensão do mundo (BRASIL, 2002, p. 85).

Esse novo ideal de educação manifesta-se ainda nas ações e obras de outros educadores como Paulo Freire, que também é um referencial presente nesse trabalho, por sua visão peculiar do ser humano e suas relações com o mundo. Visão desenvolvida talvez nos percalços de uma trajetória de vida difícil, descrita no site “Instituto Paulo Freire”².

Paulo Reglus Neves Freire nasceu no dia 19 de setembro de 1921, em Recife, Pernambuco, na época, uma das regiões mais pobres do país. Graduou-se pela Faculdade de

² Disponível em: <www.paulofreire.org>. Acesso em: 22 ago. 2016.

Direito de Recife (Pernambuco). Mais tarde tornou-se professor de Língua Portuguesa do Colégio Oswaldo Cruz e diretor do setor de Educação e Cultura do Serviço Social da Indústria (SESI) de 1947-1954 passando a ser superintendente do mesmo de 1954-1957. Ao lado de outros educadores fundou o Instituto Capibaribe.

Por sua filosofia educacional, expressa primeiramente em 1958, em tese de concurso apresentada à universidade do Recife, e mais tarde, como professor de História e Filosofia da Educação daquela Universidade, foi dos primeiros a ser exilado do país.

Exilou-se primeiramente no Chile, onde desenvolveu por 5 anos, trabalhos em programas de educação de adultos no Instituto Chileno para a Reforma Agrária (ICIRA), momento em que escreveu a sua principal obra: “Pedagogia do oprimido”. Em 1969, lecionou ainda na Universidade de Harvard.

Depois de 16 anos de exílio, retornou ao Brasil, em 1980. Lecionou na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e na Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP).

Em 1989, tornou-se Secretário de Educação no Município de São Paulo, empenhando em seu mandato uma grande dedicação aos movimentos de alfabetização, de revisão curricular e valorização salarial dos professores.

A Paulo Freire foi concedido o título de doutor *Honoris Causa* por 27 universidades. Por seus trabalhos em educação, recebeu, entre outros, os prêmios: Prêmio Rei Balduino para o Desenvolvimento (1980); Prêmio UNESCO da Educação para a Paz (1986) e Prêmio Andres Bello da Organização dos Estados Americanos, como Educador dos Continentes (1992).

Em 10 de abril de 1997, lançou sua última obra, intitulada “Pedagogia da autonomia: Saberes necessários à prática educativa”. Faleceu no dia 2 de maio de 1997 em São Paulo, vítima de um infarto agudo do miocárdio.

Deixa, porém, uma lição de prática de pedagógica no que tange ao respeito pelas pessoas, pelos seus conhecimentos e vivências. Ele lança um novo olhar sobre os educandos, tratando-os como únicos e ao mesmo tempo como iguais. Em suas palavras: “Ninguém ignora tudo. Ninguém sabe tudo. Todos nós sabemos alguma coisa. Todos nós ignoramos alguma coisa. Por isso aprendemos sempre” (FREIRE, 1989, p. 39). “Não há saber mais ou saber menos: Há saberes diferentes” (FREIRE, 1987, p. 68). Ou ainda:

Porque é encontro de homens que pronunciam o mundo, não deve ser doação do pronunciar de uns a outros. É um ato de criação. Daí que não possa ser manhoso instrumento de que lance mão um sujeito para a conquista do outro. A conquista

implícita no diálogo é a do mundo pelos sujeitos dialógicos, não a de um pelo outro. Conquista do mundo para a libertação dos homens (FREIRE, 1987, p. 79).

A prática pedagógica de Paulo Freire enquadra-se na pedagogia progressista, na chamada vertente libertadora. São definidas outras duas vertentes: a libertária e a crítico-social dos conteúdos. A última diferentemente das outras, confere significativa relevância aos conteúdos escolares, porém sempre os confrontando com a realidade social, e utilizando-os como ferramentas extras no processo de transformação social.

Sem deixar de lado as referidas contribuições de Paulo Freire, utilizamos como base para esse trabalho a terceira vertente, por acreditarmos que os conteúdos, se bem desenvolvidos e integrados à realidade, trazem aos alunos a efetiva liberdade de ação, embasada no conhecimento e na argumentação fundamentada, conforme ilustrado por Libâneo:

Mas o que será mais democrático: excluir toda forma de direção, deixar tudo à livre expressão, criar um clima amigável para alimentar boas relações, ou garantir aos alunos a aquisição de conteúdos, a análise de modelos sociais que vão lhes fornecer instrumentos para lutar por seus direitos? Não serão as relações democráticas no estilo não-diretivo uma forma sutil de adestramento, que levaria a reivindicações sem conteúdo? Representam a as relações não-diretivas as reais condições do mundo social adulto? Seriam capazes de promover a efetiva libertação do homem da sua condição de dominado? (LIBÂNEO, 1985, p. 35).

Corroborando com tudo isso e com a ideia do Teatro como forma de construir uma educação sólida, contamos com o excelente trabalho de Augusto Boal.

Autor, diretor e teórico, Augusto Boal foi um dos mais importantes nomes do teatro brasileiro a partir da década de 60. Era ligado ao Teatro de Arena de São Paulo até os anos 70 e criador do teatro do oprimido, que não por acaso assemelha-se ao nome da obra de Paulo Freire. Boal se apoia nela para lançar a internacionalmente conhecida metodologia cênico-pedagógica.

Cursou química na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e em seguida partiu para os Estados Unidos para estudar teatro em Nova York, na Universidade de Columbia, onde obteve formação em direção e dramaturgia.

Foi preso e exilado em 1971, prosseguindo no exterior com sua carreira e lá desenvolvendo teoria e prática do chamado teatro do oprimido. Somente em 1984, com a anistia, retornou ao Brasil, residindo no Rio de Janeiro, porém manteve-se ministrando cursos por todo o mundo.

Criou o “Centro do Teatro do Oprimido” em 1986, em uma construção de 1907, no centro histórico do Rio de Janeiro, onde desenvolveu atividades culturais como apresentações artísticas, cursos, oficinas, exposições e seminários sobre dramaturgia. Oferecia também assessoria a entidades que buscam utilizar o teatro como instrumento pedagógico na realização de eventos públicos ou específicos. Tem como objetivo formar grupos de pessoas que, através de técnicas teatrais, possam debater soluções para os problemas do seu meio social.

Lançou-se candidato a vereador pela cidade do Rio de Janeiro e cumpriu mandato entre 1993 e 1996, oportunidade em que utilizou o teatro de maneira inédita como forma de abordar temas de interesse geral da população para discutir a geração de projetos de lei, experiências relatadas no livro *Teatro Legislativo*. Sua atuação, portanto, encontra-se voltada para correlações entre o teatro e a cidadania.

Em seu ensaio, “A estética do Oprimido”, dentre conceitos criados por ele, expressa sua visão do poder transformador da arte:

Neste sentido, a Arte é uma forma especial de conhecimento, subjetiva, sensorial, não científica. Não é melhor que outras, mas é única. O artista, no exercício da sua Arte, viaja além das aparências do real e penetra nas unicidades escondidas pelos Conjuntos; na Obra de Arte, sintetiza sua viagem ao âmago do real e cria um novo Conjunto - a Obra - que revela o Uno descoberto nesse mergulho; este, por analogia, nos remete a nós mesmos (BOAL, 2008, p. 111).

Boal teve sua obra inspirada no grande nome do teatro mundial Bertold Brech, um dos pioneiros na associação entre ciência, arte e cidadania, que podemos dizer, constitui o tripé sobre o qual se apoia esse trabalho; como podemos perceber nas palavras de Brech, em seu livro, “Estudos sobre teatro”:

Tudo o que uma poesia contiver de caráter científico tem de estar completamente transposto para o plano da poesia. Este aproveitamento poético de elementos científicos contribui também para o prazer que vem do aspecto poético propriamente dito. Porém, para que tal transposição não resulte em prejuízo do prazer científico, é necessário aprofundar o pendor para uma íntima penetração nas coisas, é necessário cultivar o desejo de tornar o mundo susceptível de ser dominado; deste modo nos asseguraremos, numa época de grandes descobertas e invenções, da fruição da sua poesia (BRECH, 1978, p. 52).

Observemos ainda a notória semelhança entre o texto acima e as seguintes assertivas, contidas no texto do PCNs:

O ensino de Física tem enfatizado a expressão do conhecimento aprendido através da resolução de problemas e da linguagem matemática. No entanto, para o desenvolvimento das competências sinalizadas, esses instrumentos seriam insuficientes e limitados, devendo ser buscadas novas e diferentes formas de expressão do saber da Física, desde a escrita, com a elaboração de textos ou jornais, ao uso de esquemas, fotos, recortes ou vídeos, até a linguagem corporal e artística. [...] Cada vez mais elementos do mundo científico, sua linguagem e principalmente a visão de mundo que o traduz estão presentes num amplo conjunto de manifestações sociais (BRASIL, 2002, p. 84).

Dentre as obras de Brecht destaca-se a famosa peça teatral que retrata a história de Galileu Galilei, já encenada por diversos grupos teatrais em todo o mundo, uma das experiências inspiradoras desse trabalho.

Utilizaremos, portanto, como recurso a ser trabalhado em sala de aula, as abordagens teatrais criadas por Boal, nas quais os espectadores intervêm efetivamente na encenação, podendo inclusive alterar o desfecho final da trama.

Boal reunia equipe de atores e encenava enredos de cunho social e político nas ruas, estações de metrô, praças, etc. Essas experiências, bem como seus resultados são relatados em seus livros: “Teatro do Oprimido” e outras poéticas políticas (2008) e “Técnicas Latino - Americanas de Teatro Popular” (1979).

O denominado Teatro do Oprimido idealizado por Boal é um conjunto de técnicas que podem ser utilizadas de forma simultânea ou separadamente.

De acordo com Boal, essa metodologia de trabalho, propicia a preparação do indivíduo para ações reais na sua existência, na sua condição social, objetivando a libertá-lo das condições de opressão.

Basicamente, o “espectador” é incentivado a interferir na ficção criada, sempre que julgar equivocadas, irreais ou injustas as soluções apontadas em cena, de modo que se tornem tênues os limites entre ficção e realidade, entre pessoa e personagem. Aqui, o indivíduo representa o seu próprio papel, ensaia suas próprias ações, sendo capaz de refletir sobre sua realidade e transformá-la.

Entre as técnicas do Teatro do Oprimido estão: Teatro Imagem, Teatro Jornal, Teatro Invisível, Teatro Legislativo e Teatro-Fórum.

O Teatro Imagem consiste em expressar questões, problemas e sentimentos em imagens concretas, buscando a compreensão dos fatos através da linguagem corporal.

O Teatro Jornal é um conjunto de técnicas que dinamizam notícias de jornal, dando-lhes diferentes formas de interpretação.

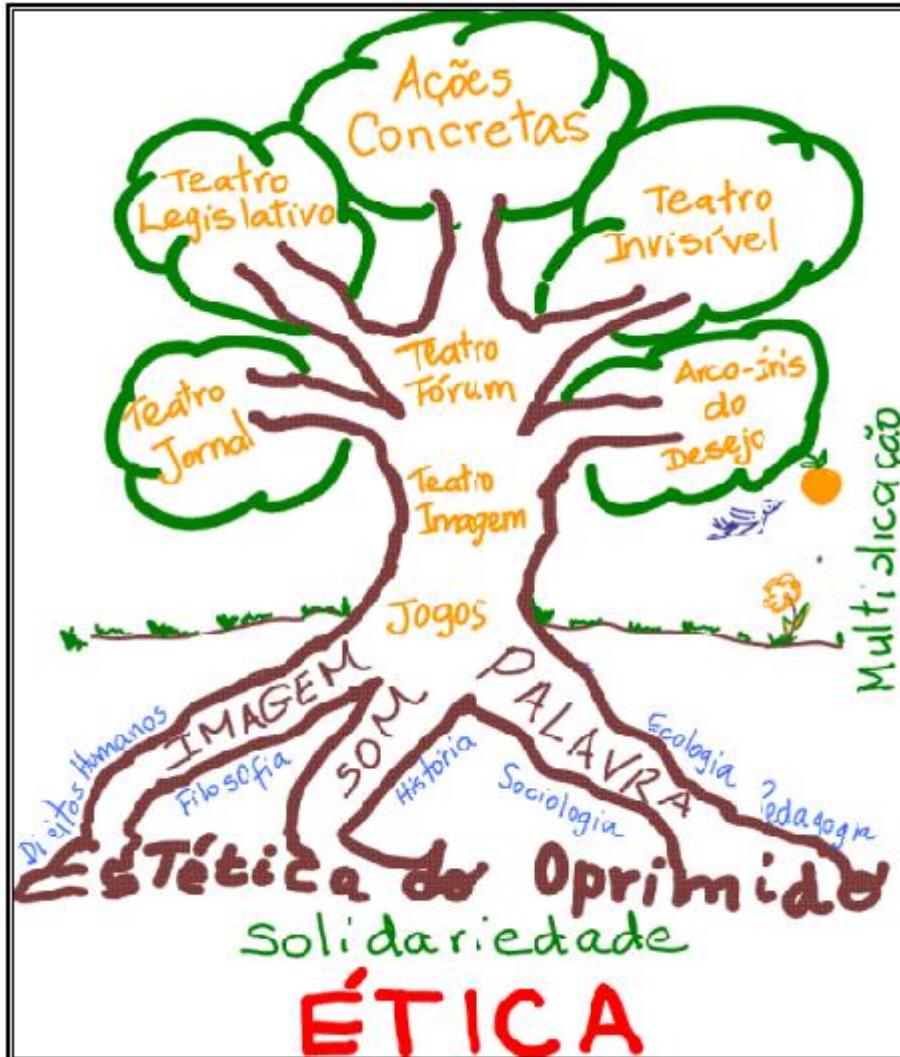
O Teatro Invisível é uma técnica de representação de cenas cotidianas onde os espectadores, sem que tenham consciência, participam das encenações, reagindo e opinando

espontaneamente nas discussões apresentadas pelo(s) chamado(s) ator(es) coringa(s) que têm ciência de tudo e guia(m) o rumo da encenação, sem contudo interferir nas ações dos “espectadores”.

O Teatro Legislativo é, em essência, a aplicação das propostas que resultam de uma discussão de Teatro Fórum destinada à produção de soluções legislativas e /ou jurídicas. As intervenções realizadas pela plateia são anotadas e servem de base para a formulação de novas leis.

O teatro Fórum, assim denomina-se por permitir a interação dos espectadores com os atores e sua interferência no desfecho da trama. Ele pode e deve coexistir com o Teatro Invisível, o Teatro Imagem e o teatro Legislativo.

Figura 1 – Esquema representativo das Técnicas de Teatro do Oprimido



Fonte: Projeto Teatro do Oprimido na Prevenção à Violência e à Criminalidade – ES, 2008.

Deve haver em todas abordagens acima descritas a figura do chamado “ator curinga”, cuja função é expor situações de conflito ou discordância, para que o público seja levado a propor soluções. De acordo com Boal, cada coringa deve agir de maneira natural, segundo sua própria personalidade.

No entanto, algumas regras se impõem ao papel desempenhado pelo coringa: ele deve ser imparcial, não pode tomar decisões sozinho. Ele deve enunciar as regras do jogo, porém a partir desse deve ouvir a plateia, que pode até mesmo modificar essas regras. Ele deve lançar as divergências à plateia para que ela escolha uma solução. Se a solução escolhida for considerada inadequada pelos espectadores, ela é retornada à plateia pelo "Coringa". O Coringa é, portanto, um mediador do jogo, exercendo ali uma função pedagógica. Ele é ainda polivalente, é o único que pode desempenhar qualquer papel na trama.

As técnicas do Teatro do Oprimido, com a presença do curinga, podem ser utilizadas por qualquer grupo, pois permite a livre manifestação de ideias.

Finalizamos esse capítulo com as palavras de Boal:

Uma sessão de teatro do oprimido não deve terminar nunca, porque tudo que nela acontece, deve-se extrapolar na própria vida. Pois o teatro do oprimido está no limite entre a ficção e a realidade: é preciso ultrapassar esse limite. E, se o espetáculo começa na ficção, o objetivo é o de se integrar na realidade da vida (BOAL, 1999 p. 347).

No capítulo que se segue, fazemos um levantamento das iniciativas relacionadas ao Teatro Científico no Brasil.

2 O TEATRO CIENTIFICO E SUA DIFUSÃO NO BRASIL

O intitulado Teatro Científico surgiu como forma de promover a associação entre arte e ciência e ampliar os meios de divulgação científica, permitindo-nos popularizar os conceitos científicos e ao mesmo tempo divulgar a expressão teatral como forma de arte.

Vale ressaltar que a ideia de teatro popular não pode ser reduzida a reunir um grande número de espectadores, através de campanhas periódicas com entradas a preços acessíveis. Popularizar o teatro vai muito além, consiste em proporcionar condições ao público de assimilar e interpretar os temas abordados, bem como de apreciar o teatro como obra artística.

Procuramos fazer um levantamento na internet, mais especificamente utilizando a ferramenta Google Acadêmico de iniciativas nesse sentido registradas no Brasil. Dentre os resultados, utilizamos os artigos e dissertações de conteúdo relevante para o presente trabalho, são eles: “Ensino de física e teatro: mapeamento bibliográfico dos periódicos brasileiros” artigo de Felipe Henrique da Silva Melo (IFSP, Itapetininga); “Teatro de temática científica: conceituação, conflitos, papel pedagógico e contexto brasileiro”, artigo de MOREIRA e MARANDINO (2015); “O teatro na educação científica e tecnológica: sentidos, interpretação e produção em uma peça teatral que conta uma história de/sobre ciência”, dissertação para obtenção de título de mestre de Guilherme Augusto de Domenico Araújo (Universidade Federal de Santa Catarina).

Estes trabalhos nos levaram ao conhecimento de projetos brasileiros, cujas realizações têm sido referência.

Destacamos aqui a companhia Arte Ciência no Palco da PUC-SP, por seu pioneirismo. Ela surge em 1995, com a peça “Einstein”, personagem vivido pelo ator Carlos Palma que, naquele ano, assistiu a uma montagem chilena da peça, monólogo escrito pelo canadense Gabriel Emanuel (pseudônimo de Gordon Wiseman).

Conta com um vasto repertório espetáculos, dentre eles, alguns premiados: “Einstein” (Prêmio Mambembe / FUNARTE em 1998), “Da Vinci pintando o sete” (Prêmio Maria Clara Machado), “Copenhagem” (Prêmio Qualidade Brasil e Prêmio Shell, em 2001), “Quebrando Códigos” (Prêmio Shell, em 2004), “20.000 léguas submarinas” (Prêmio FEMSA, em 2004), “Perdida...uma comédia quântica”, “After Darwin”, “A dança do universo”, “Rebimboça & Parafuseta” e “A culpa é da ciência?”.

Trouxe grandes contribuições também o Núcleo de Artes Cênicas da Estação Ciência, da Universidade de São Paulo (USP), cuja meta é pesquisar e utilizar a inter-relação arte e ciência, divulgando-a por meio de palestras, cursos, apresentação de espetáculos de dança,

teatro, circo e música. Através da Companhia Fábula da Fábula, realizou atividades teatrais no período de 1999 a 2013. Dentre elas destacam-se os espetáculos: “A estrela da manhã”, texto de Calixto de Inhamuns e direção de Gabriela Rabelo; “Conexões Cósmicas”, direção de Wilton Amorin; “Prof. Gervásio e a Energia Elétrica”, texto de Cauê Mattos e Regina Arruda e direção de Regina Arruda; “O monocórdio de Pitágoras”, texto de Pedro Paulo Salles e direção de Cauê Mattos; “O poeta e o vento”, texto de Calixto de Inhamuns e direção de Gabriela Rabelo; e “Larguem tudo! Vamos voar!”, texto e direção de Darci Figueiredo. Nesses espetáculos, são abordados os aspectos humanos do cientista, e as consequências éticas, sociais e econômicas do exercício da ciência. O espetáculo “Prof. Gervásio e a energia elétrica” aproxima-se da proposta deste trabalho, pois é classificado, pela Cia. Fábula da Fábula, como uma aula-espetáculo.

Lembre-mo-nos também do Ouroboros, da Universidade Federal de São Carlos, com os espetáculos “Além da Lenda”, “Magia x Ciência”, “O químico e o monstro”, “O castelo bem assombrado”, “A caverna de Morgana”, “Lição de botânica”, “Estava escrito nas estrelas”, dentre outros.

Ainda no estado de São Paulo, fica localizada a sede de um inusitado projeto itinerante, sobre o qual obtivemos informações por meio da dissertação de Guilherme Augusto De Domenico Araujo (2014) . O grupo é da cidade de Campinas, trata-se de uma organização Não-Governamental, sem fins lucrativos, fundada em 1999, chamado Núcleo Experimental Teatro de Tábuas (NETT).

Utiliza-se de uma carreta, com cobertura inflável que se transforma em um pequeno teatro com capacidade para 150 espectadores. Conta com muitos equipamentos, dezenas de especialistas em diversas áreas, além dos artistas, que em alguns casos moram nas próprias localidades onde são feitas as apresentações. Tudo isso sem citar a área construída, que é grande e composta por auditórios, salas para edição de áudio e vídeo, departamento jurídico e administrativo, salas de criação de figurino e cenário, refeitório, alojamentos, oficina, entre outros.

Esse grupo não trabalha especificamente com o tema ciência, mas possui em suas peças aspectos relacionados ao tema, e por isso mesmo teve uma de suas peças estudada na dissertação que nos serviu de fonte para essas informações.

Achamos importante versar sobre esse exemplo por se tratar de uma forma alternativa de trabalho, que pode servir de inspiração para os fins de divulgação científica por meio do teatro, ao qual podem agregar-se alunos de uma escola, por exemplo.

Figura 2 – Teatro de Tábuas



Fonte: ARAUJO, 2014.

No estado do Rio de Janeiro são referências o Ciência em Cena, localizado no Museu da Vida, da Fundação Oswaldo Cruz; o Palco da Ciência, da Casa da Ciência (RJ), conta com 12 peças, entre as quais estão: “Em busca da estrela”, texto de Larissa Câmara e direção de Chayanna Ferreira; “Um voo para Santos Dumont”, texto e direção de André Brillhante; “Dumont – O sonho de um voador”, texto de Mauro Barros e direção de Marcia Fernandes e Mauro Barros; “Dançando no céu”, texto de Stela Guedes Caputo e direção de Max Pereira Roca; “O picadeiro em busca do tempo perdido”, texto de André Brillhante e direção de Renato Carrera; e “Einstein”, texto de Gabriel Emanuel e direção de Sylvio Zilber³; e ainda o projeto Ciênica, no Núcleo Arte, Mídia e Educação, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, no campus de Macaé, com os espetáculos Esse rio é nosso! e Tabela periódica: a invenção.

Na Universidade Federal do Ceará (UFC), a reflexão sobre a educação em ciências e a demanda da sociedade pela integração entre ciência, arte e cultura leva à criação da Seara da Ciência no ano de 2000, um órgão de extensão da UFC, cujo principal objetivo é a divulgação científica. Algumas das peças apresentadas são: “Eu odeio insetos” e “Caixinhas da vida”, de Betânia Montenegro e Ricardo Tannus, e “Digestão: comida, calor e peso”, de Betânia Montenegro. Fizeram ainda, a adaptação do texto “Tem um cabelo na minha terra”, de Gary Larson, que discute o tema do equilíbrio ecológico.

Em Pernambuco, encontramos o Laboratorium Cênico. Dentre os espetáculos já encenados, estão: “Mateus e Catirina em o calor tá de rachar”; o “Desadmirável Mundo Novo”, e “Show da Ciência: Tudo numa Folha de Papel”, no qual experimentos são realizados com a participação do público.

Na Universidade Estadual da Paraíba registra-se a iniciativa de alunos do curso de Licenciatura Plena em Física, que montaram algumas peças de teatro como A Trupe da Magia, O Ciclo da Água, Conversa com a Natureza, e outras.

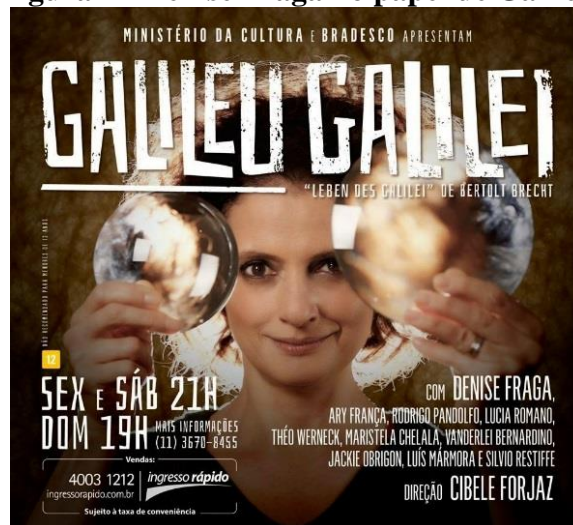
Lembramos ainda da encenação da peça “A vida de Galileu Galilei” executada por artistas brasileiros de renome em diversas ocasiões, sendo a primeira delas em 1968, no dia em que foi decretado o Ato Institucional nº 5, sob o título “Galileu Galilei”, com o grupo Teatro Oficina.

Figura 3 - José Celso Martinez em Galileu Galilei (1968)



Fonte: Tavares (2006)

Figura 4 - Denise Fraga no papel de Galileu



Fonte: Arquivo da internet³.

³ Disponível em: <<http://www.pucsp.br/assessoria-de-comunicacao-institucional/noticias/galileu-galilei-em-cartaz-no-tuca>>. Acesso em: 15 jul. 2016.

Essas iniciativas e projetos nos deixam satisfeitos e esperançosos de que a divulgação científica e sua relação com a arte se tornem mais atuantes na cultura de nosso país.

Porém, ainda são escassos os estudos sistematizados a respeito do tema, conforme mostra pesquisa realizada por Felipe Henrique da Silva Melo e apresentada em seu artigo: “Ensino de física e teatro: mapeamento bibliográfico dos periódicos brasileiros”.

Em seu mapeamento foram pesquisadas cinco revistas que disponibilizam artigos de forma digital. A seleção das revistas se deu com base no reconhecimento da qualidade das pesquisas publicadas em educação e ensino de ciências. São elas: Caderno Brasileiro de Ensino de Física; Ciência e Educação (UNESP/Bauru); Revista Brasileira de Ensino de Física; Ensaio Pesquisa em Educação; Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciência.

Das cinco revistas, apenas três apresentaram publicações que relacionavam o teatro para o ensino de Ciências e/ou de Física. Especificamente com relação ao teatro, somente foram localizados **quatro** artigos, dispersos entre os anos 2009 e 2014. Alguns artigos que apenas apresentavam a palavra “teatro” uma única vez ao longo do texto, sem qualquer relevância para a educação e/ou o ensino, foram descartados (MELO, 2015, p. 36, Grifo nosso).

Pudemos assim perceber que a conexão entre teatro e ciências no Brasil, é recente e, por isso, ainda apresenta inúmeros parâmetros a serem analisados e experimentados, uma vez que existem alguns dilemas inerentes à questão, como: critérios para a formação de equipes, que devem reunir artistas e pessoas com conhecimento técnico e científico; conflito entre os conceitos científicos e liberdade poética de expressão; apreensão dos conhecimentos pelo público alvo, entre outros.

Esperamos desse modo, que este, assim como outros trabalhos venham servir de incentivo e inspiração para novas pesquisas e práticas que possam ampliar nossos horizontes a respeito do tema a fim de torná-lo cada vez mais viável nas suas diversas facetas, que têm se mostrado poderosos instrumentos de aprendizagem e transformação social.

No capítulo a seguir descreveremos como utilizamos as metodologias do Teatro do Oprimido em sala de aula para abordagem dos conteúdos de oscilação e ondas.

3 METODOLOGIA

3.1 Motivação para escolha do tema

Tentamos encontrar um tema que permeia o dia a dia das pessoas para criar um modelo de abordagem teatral.

Para desenvolvimento da pesquisa utilizamos o conceito físico de ressonância como uma tipificação de tema gerador e, nesse sentido, buscamos abranger fenômenos, situações e conceitos a ele relacionados.

É um tema de amplo alcance que envolve conceitos físicos relevantes para o entendimento de ciência, como: onda, frequência, oscilação, amplitude. Permite ainda uma conexão da Física Clássica com a Física Moderna, quando apresentamos o assunto do ponto de vista microscópico, tal como ocorre na Ressonância Magnética ou no aquecimento de um alimento no aparelho de micro-ondas.

A primeira ação realizada para o desenvolvimento de nossa investigação foi conversar com uma professora de Física do ensino médio, que prontamente se dispôs a nos ajudar na aplicação do projeto. Apresentamos a ela todos os detalhes da proposta, e ficou acordado que, se fosse permitido pela diretoria da escola, aplicaríamos o método às turmas do 3º ano do ensino médio do turno da manhã, conforme relataremos a seguir.

O segundo passo foi pedir a devida autorização à diretoria para atuar nas turmas, o que foi prontamente atendido.

Começamos então, imediatamente na semana seguinte, o contado com as turmas. Os encontros eram feitos às segundas feiras em três turmas, em cada uma delas separadamente, conforme o relato que se segue.

Optamos por desenvolver uma sequência didática com o objetivo de poder auxiliar professores do ensino médio para trabalhar o conceito de oscilações e ondas, e em particular o conceito de ressonância de forma lúdica, participativa e conectada com os processos naturais e tecnológicos.

Por sequência didática entendemos: “um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelo professor como pelos alunos” (ZABALA, 1998, p.18).

3.2 Motivação para escolha do método

Antes de mais nada vale lembrar que teatro e teoria têm a mesma origem etimológica; as duas palavras se originam do grego *thea*, que significa “um ponto de vista”. Não é de se estranhar, portanto, que tenham surgido ao longo da história personagens marcantes, que perceberam uma ligação a natureza e as manifestações artísticas de modo geral, aliando arte e teorias científicas, a exemplo de Da Vinci, que representou a anatomia humana em suas esculturas, ou como Leibniz, que associou matemática à teoria musical, dentre outros.

Especificamente nos assuntos relacionados à física, notamos que grande parte dos estudantes não compreende que os fenômenos naturais por ela compreendidos estão presentes em seu cotidiano. As aplicações dos avanços teóricos e experimentais da física permitiram a contribuição dessa ciência para o desenvolvimento de outras áreas do conhecimento que permeiam a realidade de todos, como a astronomia, a meteorologia, a geologia, a medicina, a biologia e a agricultura, além de revolucionar a tecnologia das telecomunicações e dos transportes.

O Teatro, por ser um instrumento de comunicação por excelência, pode ter um papel muito importante na mudança do paradigma de uma física que só existe em laboratórios e só pode ser compreendida por cientistas que nasceram com uma inteligência privilegiada.

O Teatro Científico, de modo geral é realizado em locais destinados a isso, como centros ou museus de ciência ou casas de teatro.

Neste contexto, há a preocupação de abordar os conhecimentos de forma mais simples, lúdica e participativa aos estudantes em seus ambientes escolares, uma vez que a utilização exclusiva de livros e recursos didáticos tradicionais tornam os conceitos científicos, monótonos, complicados e desconectados da realidade.

Porém, a prática teatral começa também a migrar para ambientes que não são específicos para esse fim, como salas de aula, ruas, praças e estações de metrô, por ser uma excelente forma de abordar elementos sociais e políticos que possam estimular o julgamento crítico do público, conforme preconizam as teorias, e validam as práticas de Bertolt Brecht e posteriormente, Augusto boal.

Assim, o Teatro Científico torna-se uma possibilidade de ampliar, cativar e seu público, além de constituir uma ferramenta de ensino e de transformação social.

3.3 A sequência Didática

Aula 1: Aplicação de questionário sobre MHS, Oscilações e Ondas a fim de sondar o que os alunos entendem por conceitos como: Oscilação, Onda, Frequência, Período, Amplitude, Ressonância. Em seguida indaga-se quais alunos têm interesse em participar de encenações teatrais. Constituído esse grupo de interesse, fornece-se aos membros um diálogo que versa sobre as questões a serem abordadas⁴. Os estudantes desse grupo são então orientados a encenarem o diálogo, e se tornam responsáveis pela dinâmica da discussão a ser desenvolvida. O professor tem papel fundamental na mediação e condução das discussões, exercendo o papel do ator coringa definido por Boal.

Aula 2: Apresentação de vídeos mostrando situações reais em que ocorre o fenômeno de ressonância e suas consequências, para toda a turma, intermediando possíveis discussões e incentivando reflexões. Esses vídeos mostram casos em que a ressonância ocorre de forma clara em situações cotidianas como o vento interagindo com asas de aviões, aumento de amplitudes de vibração em pontes, interação das ondas sonoras com o seu meio de propagação. Essa aula tem o objetivo de introduzir o conteúdo propriamente dito por meio do contato com fenômenos físicos reais.

Aula 3: Encenação do diálogo ensaiado previamente com os alunos que mostraram interesse em atuar, sem que o restante da turma tenha conhecimento, porém tenha oportunidade de intervir e participar, nos moldes do que Boal denomina “Teatro Invisível”. Esse diálogo é a espinha dorsal da atividade, e deve ser bem conduzida, de modo que todos os alunos mostrem interesse e possam participar efetivamente. Como pode ocorrer de alguns alunos mostrarem desinteresse pelo assunto, em particular por conta da Física em geral ser considerada de difícil entendimento, é conveniente que algum aluno “ator” faça o papel de desinteressado e até procurando desestabilizar a aula, atuando também como “coringa” nesse caso. Nessa situação, o professor poderá preparar esse aluno para que vá, ao longo do diálogo, refletindo sobre suas próprias posições.

Aula 4: Aula expositiva abordando os conceitos de período, frequência, comprimento de onda, amplitude e formas de propagação de ondas, bem como a dedução da expressão $v =$

⁴ Ver apêndice B.

λ , f e formas de propagação de ondas. Nesse último item utilizamos uma encenação não ensaiada, com alunos voluntários, a exemplo da técnica do “Teatro Imagem”, que utiliza expressões corporais para representar situações.

Aula 5: Resolução e discussão de questões retiradas de exames anteriores do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM)⁵. A ideia aqui é mostrar aos alunos que num exame de seleção como esse surgem itens que exigem conhecimento teórico sem a necessidade de cálculos, e mesmo quando os cálculos aparecem, necessitam um conhecimento teórico mais profundo sobre o assunto.

Aulas 6: Avaliação para verificar se os conceitos físicos e suas aplicações foram apreendidos⁶. Nessa etapa, procuramos oferecer questões que pudessem verificar o nível de aprendizagem tanto no que se refere a conhecimento exclusivamente descritivo, e até de exclusiva memorização, bem como o envolvimento de cálculos, procurando perceber se o conteúdo foi assimilado de forma consciente e crítica.

3.4 Levantamento do nível de aprendizagem

As respostas dos alunos serão analisadas de forma qualitativa e quantitativa, de modo que possamos interpretar suas respostas da maneira mais ampla possível. Essa estratégia, pelo fato de ser diferenciada, já que procura fugir de metodologias mais tradicionais exige um pouco mais de atenção.

Evitar que os alunos “atores” conduzam a encenação a uma situação caótica e desorganizada é um cuidado a ser considerado com bastante atenção para que não prejudique a apreensão do conteúdo. Dessa forma, deve-se ter o cuidado de valorizar a atuação dos alunos do grupo de interesse, mas principalmente não desconsiderar a intervenção dos demais. Pretendemos defender a tese de que a curiosidade, a motivação, a irreverência e o envolvimento da sala de aula como um todo, devem ser considerados como elementos a serem cuidadosamente considerados, e tratados de forma criteriosa.

⁵ Ver apêndice C.

⁶ Ver apêndice D.

4 RESSONÂNCIA: ANCORAGEM PARA ABORDAGEM DE OSCILAÇÕES E ONDAS

4.1 Conceitos fundamentais

Para que os fenômenos oscilatórios e ondulatórios sejam compreendidos deve-se ter em mente alguns conceitos a eles subjacentes, tais como: amplitude, período, frequência, e frequência angular.

A amplitude pode ser definida como o “alcance máximo” de uma oscilação: “A amplitude do movimento, designada por A , é o módulo máximo do vetor deslocamento do corpo a partir da posição de equilíbrio” (YOUNG; FREEDMAN, 2008, p. 37).

O período designado por “ T ”, é o tempo necessário para que ocorra uma oscilação completa: “O período, T , é o tempo correspondente a um ciclo” (YOUNG; FREEDMAN, 2008, p. 37).

A frequência “ f ” consiste no número de oscilações ocorridas em um determinado intervalo de tempo “A frequência, f , é o número de ciclos por unidade de tempo” (YOUNG; FREEDMAN, 2008, p. 37).

A frequência angular “ ω ” é o ângulo $\Delta\theta$, percorrido, em radianos por unidade de tempo. Podemos obter uma relação entre a frequência e a frequência angular da seguinte forma:

Eq. (1)

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

O ângulo percorrido em uma oscilação completa vale 2π rad, e o tempo decorrido nessa oscilação é o período T . Substituindo ambos na equação 1, temos:

Eq. (2)

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

Ou ainda, $\omega = 2 \pi f$. “A frequência angular, ω é 2π vezes a frequência” (YOUNG; FREEDMAN, 2008, p. 37).

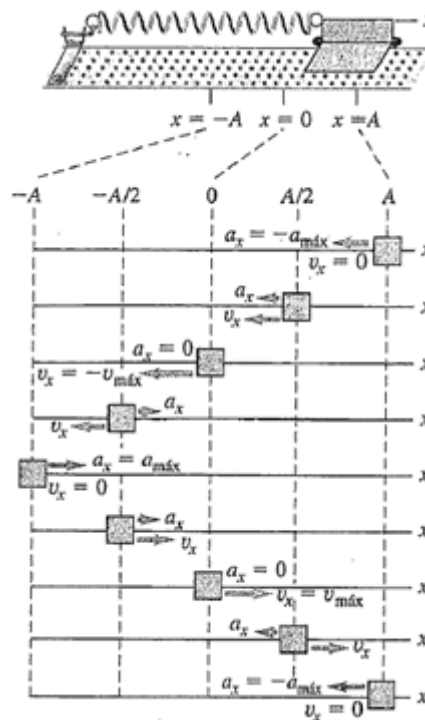
4.2 Movimento Harmônico Simples (MHS) e sua analogia com o Movimento Circular Uniforme (MCU)

“O tipo mais simples de oscilação ocorre quando a força restauradora F_x é diretamente proporcional ao deslocamento x da posição de equilíbrio” (YOUNG; FREEDMAN, 2008, p. 38). Esse é o caso de uma massa oscilando presa à extremidade de uma mola, o chamado sistema massa-mola.

O MHS é importante porque com ele é possível descrever fenômenos oscilatórios de baixa amplitude que ocorrem no cotidiano. Vamos então estudá-lo mais profundamente. Observemos a figura abaixo e a análise das grandezas envolvidas no decorrer do tempo:

Esse tipo de oscilação corresponde ao chamado sistema “ massa mola”, um dos modelos utilizados na análise de movimentos oscilatórios.

Figura 5 - Variações das grandezas físicas no decorrer da oscilação



Fonte: Young; Freedman, 2008, p. 44.

Na figura 5 estão dispostas características das grandezas cinemáticas posição, velocidade e aceleração para algumas posições ao longo da trajetória do corpo.

A seguir discutiremos as bases matemáticas objetivando encontrar as equações que descrevem as grandezas envolvidas; as equações de movimento podem ser obtidas a partir da discussão desenvolvida na sequência.

Objetivamos encontrar as equações que descrevem as grandezas envolvidas em função do tempo; as equações de movimento.

A Lei de Hooke para o MHS, combinada com a Segunda Lei de Newton fornece:

Eq.(3)

$$a_x = \frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{k}{m}x$$

Eq.(4)

$$F_x = -kx$$

Eq.(5)

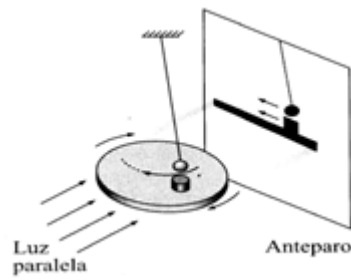
$$F = m.a$$

Obtemos daí que a derivada segunda da posição em relação ao tempo é uma constante negativa multiplicada pela própria posição.

Uma solução pode ser obtida por meio de um paralelo entre o MHS e outro tipo de movimento: o Movimento Circular Uniforme (M.C.U).

Considere a sombra de um objeto em movimento circular uniforme projetada em um plano vertical, como ilustrado na figura a seguir:

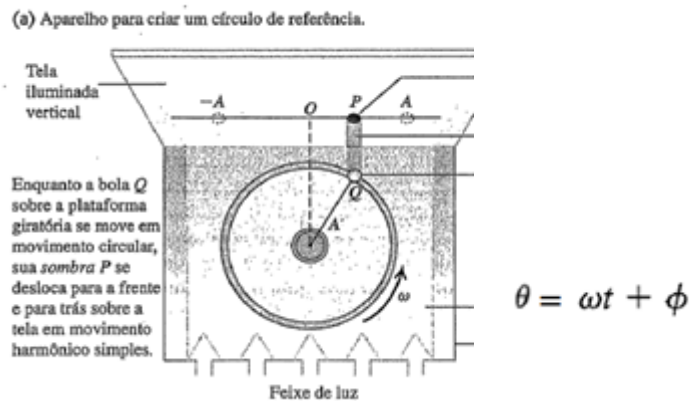
Figura 6 - Sombra de um objeto em movimento circular uniforme projetada em um plano vertical



Fonte: Nussenzveig, 1981, p. 56.

O arranjo das figuras abaixo sugere, numa vista superior, relacionar movimento circular uniforme com o movimento harmônico simples.

Figura 7- Vista superior do Movimento Circular



Fonte: Young; Freedman, 2008, p.39.

Com base na figura 7b, chegamos então à conclusão que o deslocamento x pode ser dado pela expressão:

Eq. (6)

$$x = A \cos \theta$$

$$\frac{d^2x}{dt^2}$$

onde

De outro modo, a eq. 6 é solução da equação 5.
 Fazendo a derivada primeira $\frac{dx}{dt}$ da posição obtemos a velocidade:

Eq.(7)

$$v(x) = -\omega A \sin(\omega t + \phi)$$

Fazendo a derivada segunda da posição em relação ao tempo obtemos a aceleração:

Eq.(8)

$$a(x) = -\omega^2 A \cos(\omega t + \phi)$$

Comparando as equações (5) e (8) obtemos:

Eq.(9)

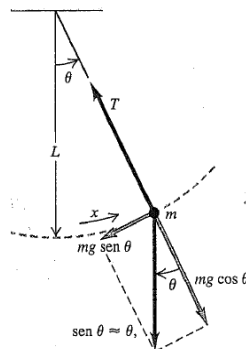
$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

sendo “k” a constante elástica da mola e “m” sua massa.

4.3 O Pêndulo Simples

Outro caso de oscilação que nos é familiar e útil é o chamado Pêndulo Simples:

Figura 8 - Movimento do Pêndulo Simples projetado em um plano



Fonte: Adaptado de Young; Freedman, 2008, p.53.

Nesse caso, a força restauradora será a componente tangencial da massa oscilante:

Eq. (10)

$$F = -mg \sin \theta$$

Como para pequenas oscilações $\sin \theta \approx \theta$, temos:

$$F = -mg\theta$$

no entanto, $x = L \sin \theta$ ou $x = L \theta$, então:

Eq.(11)

$$F = -\frac{mg}{L}x$$

Comparando esse resultado com a Eq. (3) e dado $k = \frac{mg}{L}$ $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ que fica:

Eq.(12)

$$\omega = \sqrt{\frac{mg/L}{m}} = \sqrt{\frac{g}{L}}$$

A frequência e o período são:

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{L}}$$

Eq. (13)

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{f} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

4.4 Oscilações Amortecidas

Na prática qualquer movimento oscilatório está submetido a forças dissipativas, o que afeta a amplitude de oscilação. Devemos então acrescentar uma força de amortecimento, (“v” $f_{amort} = -bv$ é a velocidade e “b” é uma “constante de amortecimento”) à Segunda Lei de

Newton :

$$ma = -kx - bv$$

gerando a seguinte equação diferencial:

Eq. (14)

$$-kx - b \frac{dx}{dt} = m \frac{d^2x}{dt^2}$$

cuja solução é:

Eq.(15)

$$-kx - b \frac{dx}{dt} = m \frac{d^2x}{dt^2}$$

A frequência angular ω' é dada por:

Eq. (16)

$$\omega' = \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{b^2}{4m^2}}$$

4.5 Oscilações Forçadas e Ressonância

Nesse caso surge a influência de uma força externa propulsora, que deverá também ser acrescentada: $ma = -kx - bv + F(t)$

Eq. (17)

$$F(t) - kx - b \frac{dx}{dt} = m \frac{d^2x}{dt^2}$$

Vamos considerar que $F(t)$ seja uma força periódica descrita por:

Eq.(18)

$$F(t) = F_{\text{máx}} \cos(\omega_d t)$$

A partir desse pressuposto podemos deduzir uma equação para a amplitude da oscilação forçada:

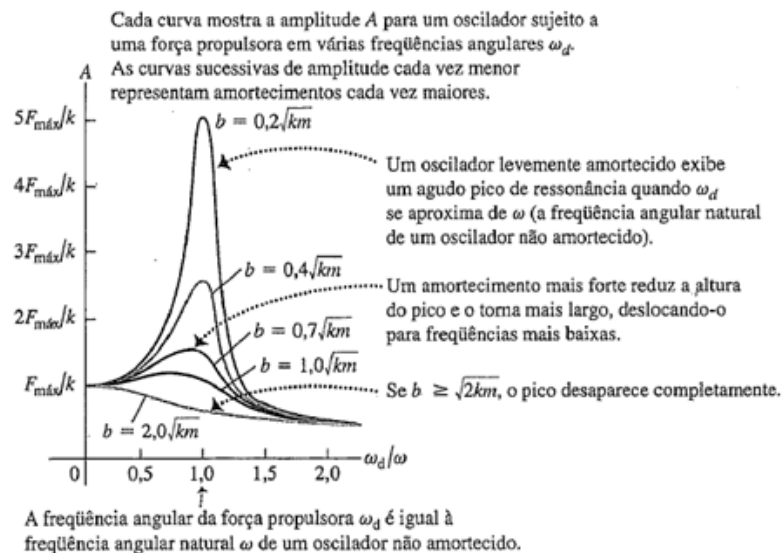
Eq. (19)

$$A = \frac{F_{\text{máx}}}{\sqrt{(k - m\omega_d^2)^2 + b^2\omega_d^2}}$$

É muito relevante aqui analisarmos em que condições podemos obter amplitude máxima.

Esse valor será obtido quando o denominador da expressão for o menor possível, e isso se dá quando $(k - m\omega_d^2) = 0$, ou seja, quando $k = m\omega_d^2$, o que implica, ω_d é a $= \sqrt{\frac{k}{m}}$ frequência de oscilação natural do sistema, conforme constatamos no gráfico a seguir:

Gráfico 1 - Amplitude de oscilação em função da relação entre frequência da força propulsora e frequência natural de oscilação



Fonte: Young; Freedman, 2008, p.59.

Observa-se que para $\omega = \omega_d$, a amplitude de oscilação atinge seu pico máximo, conforme Halliday explicita:

A amplitude é dada em função da frequência angular ω_d da força propulsora e atinge um pico quando a frequência da força propulsora possui um valor próximo da frequência da oscilação natural do sistema. Esse fenômeno denomina-se ressonância. (YOUNG; FREEDMAN, 2008, p.61).

Ou ainda, nas palavras de Paul A. Tipler: “Quando a frequência de excitação é igual à frequência natural do oscilador, a energia absorvida pelo oscilador é máxima. Por isso, a frequência natural do sistema é denominada frequência de ressonância do sistema” (TIPLER, 2000, p.396).

Essa interação pode ocorrer entre os mais diversos sistemas físicos. São exemplos: uma criança empurrada em um balanço, uma taça de cristal que se quebra na presença de ondas sonoras, ventos ressonantes com pontes ou asas de aviões ou ainda entre campos magnéticos interagentes, como é o caso do procedimento médico denominado “Ressonância Magnética”, para o qual dedicaremos algumas linhas, por se tratar de uma aplicabilidade relevante.

4.6 Ressonância magnética nuclear

As propriedades de ressonância magnética têm origem na interação entre um átomo em um campo magnético externo (B_0), de forma mais precisa, é um fenômeno em que partículas contendo momento angular e momento magnético exibe um movimento de precessão quando estão sob ação de um campo magnético externo (B_0) (MAZZOLA, 2009).

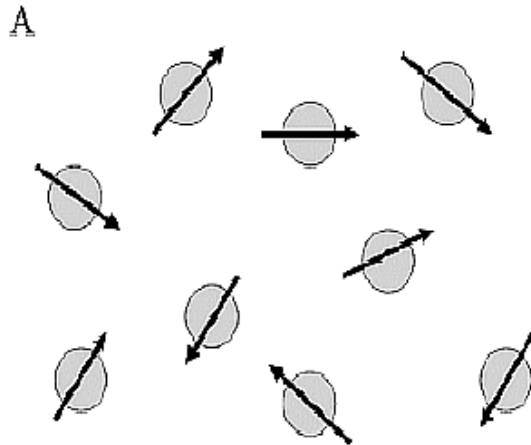
Essa interação se dá principalmente entre o campo externo e os prótons dos átomos de hidrogênio, o elemento mais abundante no corpo humano, que por sua vez possui seu próprio campo magnético.

A produção de imagens das estruturas biológicas por ressonância magnética normalmente utiliza campos magnéticos com intensidade entre 0,02 T a 3 T. Para se ter uma ideia da magnitude desses campos, deve considerar que o campo magnético da Terra equivale 3×10^{-5} T, logo os campos usados nas MRI são 100.000 vezes maiores que o campo magnético terrestre (PANEPUCCI et.al., 1985).

Quando submetidos a esse campo magnético externo, os momentos magnéticos dos prótons, que estão a princípio orientados de forma aleatória, tenderão a se alinharem com esse novo campo.

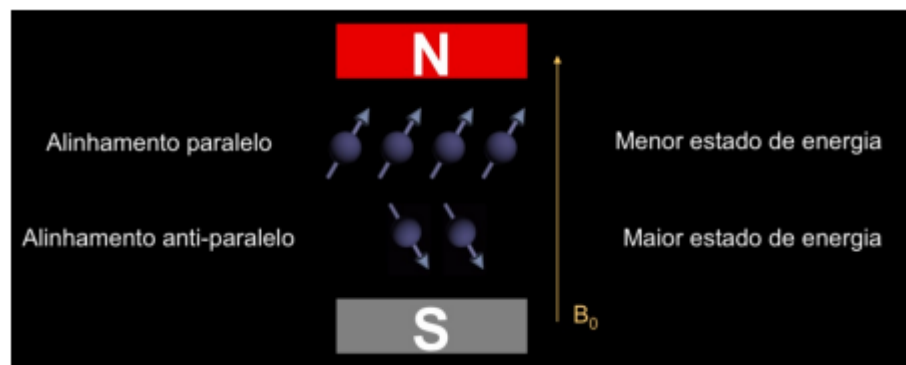
Quando o paciente é posicionado no interior do magneto e fica sob ação de um campo magnético de, por exemplo, 1,5 T, os prótons de hidrogênio irão se orientar de acordo com a direção do campo aplicado, como se fossem pequenas bússolas, porém, ao contrário das bússolas que apontariam seu norte marcado na agulha para o sul Magnético, os prótons de hidrogênio apontam paralelamente ao campo e anti paralelamente (MAZZOLA, 2009, p. 4).

Figura 9 - Prótons de Hidrogênio antes da ação do campo externo



Fonte: Hage, Iwasaki 2009, p.1289.

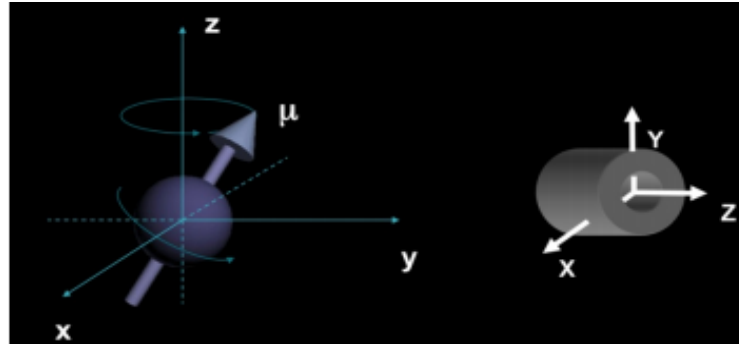
Figura 10 - Prótons de Hidrogênio após a ação do campo externo



Fonte: Mazzola, 2009, p.5

Como os prótons possuíam um sentido próprio de giro (spin), a intervenção do campo exterior, leva-os a um movimento de precessão em torno de um eixo.

Figura 11 - Movimento de Precessão causado pelo campo externo



Fonte: Mazzola, 2009. p. 7

A formação das imagens na Ressonância Magnética se dá através da medição dos chamados tempos de relaxação associados a cada tipo de tecido do nosso corpo.

O tempo de relaxação é o tempo gasto para que o vetor campo magnético retorne à sua orientação inicial. São observados dois tempos de relaxação diferentes: um relacionado ao plano transversal e outro relacionado ao plano longitudinal.

Esses tempos variam de acordo com os tipos de células presentes em cada tecido.

Segue uma tabela que associa os tempos de relaxação aos diferentes tecidos orgânicos:

Tabela 1 - Tempos de relaxação T1 e T2 aproximados para diversos tecidos do corpo humano a 1,5T

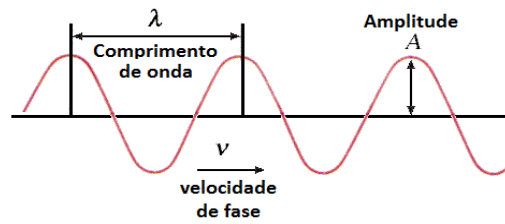
| Tecido | T1 (ms) | T2 (ms) |
|------------------------------------|---------|---------|
| Substância branca | 790 | 90 |
| Substância cinzenta | 920 | 100 |
| Líquido céfalo-raquidiano (líquor) | 4000 | 2000 |
| Sangue (arterial) | 1200 | 50 |
| Parênquima hepático | 490 | 40 |
| Miocárdio | 870 | 60 |
| Músculo | 870 | 50 |
| Lipídios (gordura) | 260 | 80 |

Fonte: Mazzola, 2009, p. 12

4.7 Representação de uma onda e suas características

As oscilações podem produzir ondas. Segundo Sears: “Uma onda surge quando um sistema é deslocado da sua posição de equilíbrio e a perturbação se desloca ou se propaga de uma região para outra do sistema” (YOUNG, 2008, p. 103).

Figura 12 - Elementos de uma onda



Fonte: Arquivo da internet⁷.

Deduzimos a partir daí uma equação para a velocidade de propagação dessa onda:

Eq.(20)

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Eq.(21)

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

Como: $T = 1/f$, temos:

Eq.(22)

$$v = \lambda \cdot f$$

Apresentados o referencial teórico e bases do conteúdo envolvido, passamos a descrever agora a metodologia para o desenvolvimento de nossa investigação.

⁷ Disponível em: < <http://engenharia.unipinhal.edu.br/ondas/transversais/transversais.html>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

5 RELATO DA APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Na primeira aula, com a ajuda da professora regente da turma, foram apresentadas aos educandos as ideias gerais sobre o projeto e seu propósito de facilitar o entendimento de fenômenos da física que permeiam nosso cotidiano e são abordadas em exames de seleção. Eles se mostraram interessados e bastante curiosos no que diz respeito à inserção das encenações teatrais no processo de aprendizagem.

Em seguida aplicamos um questionário envolvendo conceitos sobre ondas e ressonância. Eles reagiram comentando que não sabiam responder à maior parte das perguntas, pois ainda não haviam “estudado aquela matéria”. Explicamos então que podiam formular as respostas com base em seus conhecimentos não formais, ou seja, com base nas vivências do cotidiano que eles acreditavam associar-se ao conteúdo abordado no questionário.

Diante dos nossos argumentos e da possibilidade da utilização de encenações como recurso didático, os alunos se sentiram motivados e foram bastante receptivos, respondendo com empenho às questões. Durante a realização dessa tarefa surgiram entre eles pequenas discussões e reflexões acerca do tema.

5.1 O recrutamento dos interessados, os ensaios e encenações do diálogo

Nas três turmas em que a encenação foi proposta, obtivemos adesão de 7 alunos em uma turma, 4 alunos em outra e em uma terceira de nenhum aluno. Não obstante o diálogo foi realizado nas três. No caso da última turma apenas eu, na condição de pesquisadora, falava as partes que cabiam ao professor e propus a eles respostas improvisadas, deixando claro que era uma encenação para todos eles.

Nos três casos as conversas fluíram bem. Podemos, no entanto, destacar pontos positivos e negativos nos casos de maior e menor adesão: nas turmas em que tinham alunos falando suas partes ensaiadas, foi possível uma abrangência maior na discussão, pois o diálogo promoveu uma troca de ideias guiada, que permitiu uma abordagem mais completa dos conceitos envolvidos, por outro lado, deixou os alunos mais tensos, com medo de errar suas falas.

Já na turma em que somente eu possuía o texto em mãos, as considerações foram mais aleatórias, exigindo mais intervenções para que fossem alcançados todos os temas que

pretendia trabalhar; nessa situação, entretanto os alunos estavam mais relaxados e se comportaram de forma mais espontânea. Devemos destacar aqui, que segundo Boal (1999), o fato de nenhum dos educandos ter o texto não constitui problema, pois o professor, nesse caso eu, estava no papel do chamado ator coringa, e isso é considerado por ele condição suficiente.

Figura 13 - Contato inicial, para explicação da proposta e aplicação do questionário



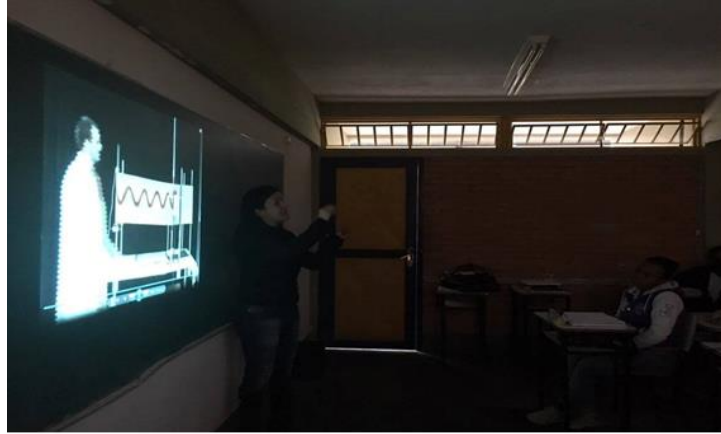
Fonte: Arquivo da pesquisa.

5.2 Exibição dos vídeos

No segundo encontro foram exibidos diversos vídeos envolvendo os diferentes tipos de ondas e sua ocorrência no dia a dia, bem como os efeitos de ressonância associados.

A reação dos estudantes foi de muito interesse, curiosidade, surpresa e até mesmo incredulidade diante das consequências de alguns efeitos ressonantes. Fizeram muitas perguntas e observações. Diante da destruição de estruturas físicas de pontes, asas de avião e vidros, duvidaram da veracidade dos vídeos alegando que eram “montagens”.

Figura 14 - Relação entre movimentos oscilatórios e ondas



Fonte: Arquivo da pesquisa.

Figura 15 - Ondas sonoras se propagando na água



Fonte: Arquivo da pesquisa.

Figura 16 - Ondas sonoras em placas com sal, formando figuras diferentes conforme variação da frequência



Fonte: Arquivo da pesquisa.

Figura 17 - Ondas em uma corda



Fonte: Arquivo da pesquisa.

Figura 18 - Propriedades ondulatórias da luz



Fonte: Arquivo da pesquisa.

A terceira atividade foi a encenação do Teatro Invisível, com a participação dos estudantes que tinham as falas previamente decoradas e daqueles que não tiveram acesso ao diálogo e nem mesmo sabiam que alguns colegas o tinham. Tanto na participação dos alunos que já possuíam as falas, bem como na participação daqueles que não tinham, a metodologia mostrou-se bastante proveitosa.

Cada um se levantava e dizia o texto que lhe cabia ou que queria dizer caso não fizesse parte do grupo que ensaiou (nesse caso estava submetido a eventuais intervenções de minha parte).

Figura 19 - Aluno encenando o diálogo



Fonte: Arquivo da pesquisa.

Tanto o aluno que encena, quanto o restante da turma mostram estarem se divertindo e participando da proposta.

Figura 20 - Aluna encenando o diálogo



Fonte: Arquivo da pesquisa.

Figura 21 - Aluno encenando o diálogo



Fonte: Arquivo da pesquisa.

Figura 22 - Aluno encenando o diálogo



Fonte: Arquivo da pesquisa.

Uma constatação relevante é o fato de um aluno portador de necessidades especiais, como ilustrado na figura 22 que, apesar das dificuldades relacionadas à fala, participou ativamente das encenações.

Na quarta aula relacionamos todo o trabalho realizado com o conteúdo didático em si, na expectativa de que essa ação possa melhorar também o desempenho dos estudantes nos exames de seleção para o ensino superior.

Figura 23 - Aula expositiva correlacionando os vídeos e os diálogos ao conteúdo propriamente dito



Fonte: Arquivo da pesquisa.

Os alunos novamente se mostraram receptivos às explicações de teorias e demonstrações de fórmulas, posto que utilizamos também aqui a expressão corporal para exemplificar fenômenos ondulatórios com a ajuda de estudantes voluntários.

As fotos que se seguem mostram o grande grau de envolvimento dos alunos com as dinâmicas corporais, mostrando-nos que a atividade lúdica tem um papel fundamental na motivação para a aprendizagem.

Figura 24 - Dinâmica para exemplificar ondas transversais



Fonte: Arquivo da pesquisa.

Figura 25 - Dinâmica para exemplificar ondas transversais



Fonte: Arquivo da pesquisa.

Figura 26 - Dinâmica para exemplificar ondas longitudinais



Fonte: Arquivo da pesquisa.

No quinto encontro resolvemos questões que foram abordadas nos últimos ENEM's.

No sexto e último encontro foi aplicada às turmas uma avaliação para verificação de aprendizagem no que concerne à aplicação de alguns dos conceitos e fórmulas basilares da ondulatória e do MHS.

5.3. Discutindo o conteúdo utilizando questões do ENEM

Nesse momento, os alunos mostraram ter entendido a conexão dos conceitos desenvolvidos ao longo do trabalho com as realidades práticas e escolares. Eles próprios associavam as definições de período, frequência, amplitude e ressonância, escritos no quadro com os fenômenos que viram nos vídeos e foram apresentados nos diálogos.

6 ANÁLISE DE RESULTADOS

Nossa expectativa nessa análise de resultados foi registrar e observar como os estudantes podem ter evoluído, o que nos permitiria fazer um comparativo entre os conceitos e percepções que eles tinham antes do processo com a nova visão adquirida por eles.

No momento imediatamente posterior à entrega do questionário aos alunos e durante as respostas, muitos se sentiram bastante desconfortáveis, alegando medo de errar ou dizendo que ainda não haviam estudado aquele conteúdo e nada poderiam escrever a respeito.

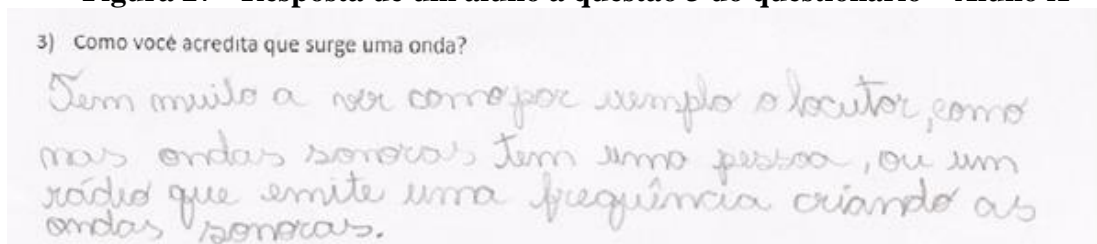
Certo aluno fez uma indagação bastante curiosa, que nos pareceu dizer muito sobre a forma como muitos veem a física, ou, de forma mais ampla, a relação entre ciência e realidade. Disse ele: “Professora..., é pra [sic] responder sobre ondas da ‘vida’ ou ondas da física?”.

Esse questionamento deixa claro a dissociação entre os conteúdos escolares e o cotidiano que geralmente se estabelece nos processos de aprendizagem.

Quando foi dito a eles que as ondas da “vida” e da física são as mesmas, eles disseram: “ahh...então tá [sic]” E a partir de então começaram a surgir exemplos entre eles: onda do mar, onda sonora, e até mesmo “onda de assaltos” e “onda das drogas”. Nos parece com isso, que a única forma de tentar promover uma aprendizagem efetiva e transformadora se dá através dos “saberes” que cada pessoa traz de suas experiências, conforme diria Freire.

Algumas outras manifestações em resposta ao questionário que corroboram com essas considerações:

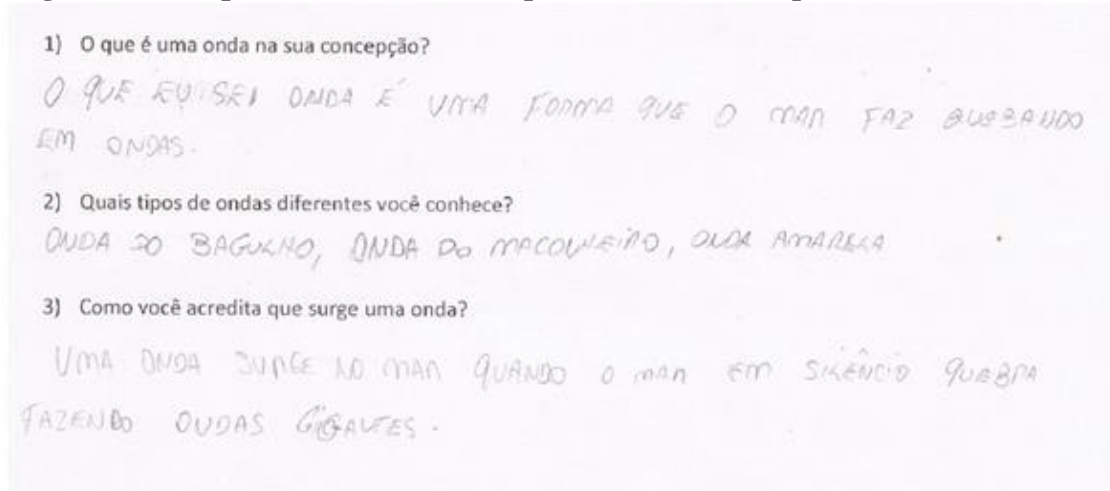
Figura 27 - Resposta de um aluno à questão 3 do questionário – Aluno X



Fonte: Arquivo da pesquisa.

Notamos aqui uma noção dos conceitos de onda e frequência associados ao som da voz que se propaga através das ondas de rádio, o que se revela um bom ponto de partida para a discussão do conteúdo.

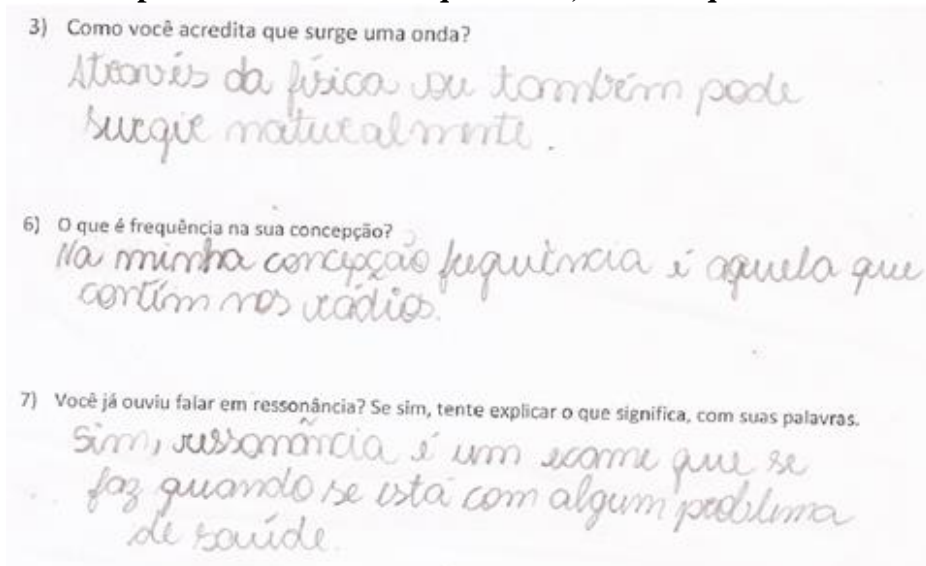
Figura 28 - Resposta de um aluno às questões 1, 2 e 3 do questionário - Aluno Y



Fonte: Arquivo da pesquisa.

Aqui notamos novamente uma relação entre o conceito de onda e acontecimentos e fenômenos do cotidiano como a onda do mar e até a chamada onda das drogas, associação essa que não deve ser repreendida, pois a nosso ver faz parte da realidade de vida do aluno, tornando-se ponte essencial para despertar-lhe o interesse sobre o conteúdo discutido.

Figura 29 - Resposta de um aluno às questões 3, 6 e 7 do questionário – Aluno Z



Fonte: Arquivo da pesquisa.

Aqui se faz clara uma dissociação entre natureza e física, provável resultado de uma apreensão fragmentada de ciência, que procuramos tentar reverter. Além disso, há uma

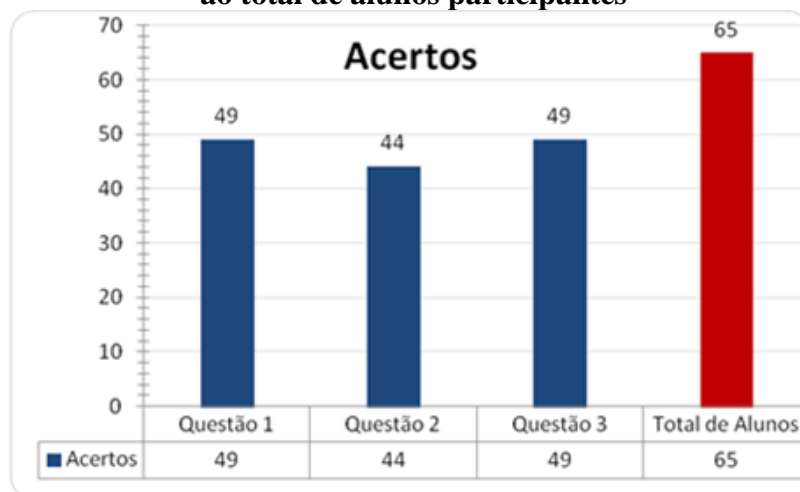
redução do conceito de ressonância tão somente ao exame de ressonância magnética, ideia manifesta por todos os alunos que responderam à questão 7.

Ao final de todo o processo, para realizar uma sondagem sobre o que foi aparentemente apreendido pelos alunos, aplicamos uma avaliação ao final do processo, contendo 3 questões de múltipla escolha, oriundas de exames de seleção e uma questão discursiva por nós elaborada⁸.

Os resultados qualitativos iniciais da maioria das avaliações, comparados com os questionários aplicados antes da nossa intervenção, mostraram um avanço bastante significativo no que tange à elaboração de novos conceitos, adaptação das concepções espontâneas às concepções científicas, no entanto sem dissociá-las.

Foram ainda além, mostrando saber como utilizar os novos conhecimentos para responder a questões abordadas em exames de seleção, conforme pode-se concluir a partir do gráfico a seguir:

Gráfico 2 - Número de acertos em cada uma das questões de múltipla escolha em relação ao total de alunos participantes



Fonte: Arquivo da pesquisa.

Na primeira questão, buscamos avaliar se os alunos conseguiram associar o fenômeno de ressonância à interferência entre frequências próximas; percebemos que essa ideia foi bem compreendida já que foi um tema abordado com ênfase nos diálogos e a quantidade de acertos foi significativa nessa questão.

Na segunda questão tratamos a relação entre a frequência de uma onda e a energia transportada por ela, relação importante para o entendimento de vários fenômenos ressonantes. Aqui o índice de acertos foi ligeiramente inferior à primeira. Acreditamos que

⁸ Ver apêndice D.

esse resultado se deve ao fato de que a relação entre frequência e energia ser uma dedução mais indireta, não trivial para os discentes, mesmo tendo sido apresentada e discutida na aula de resolução de exercícios.

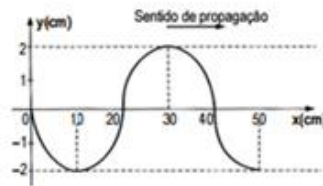
A questão 3 já aborda aspectos mais quantitativos relacionados à noção de período e frequência, porém utilizando-se do exemplo do relógio, um aparato incorporado ao cotidiano, o que permite uma associação mais concreta para o aluno. Acreditamos ser esse o motivo do bom aproveitamento nessa questão.

A quarta questão já vem composta de mais abstração matemática, com a inserção da análise gráfica do movimento ondulatório e necessidade da utilização de fórmulas.

Abaixo fizemos separadamente a análise do desempenho obtido nessa questão, que mostra alguns resultados interessantes, como pode ser observado no Gráfico 3, que se segue à transcrição da questão 4:

Figura 30 – Questão 4

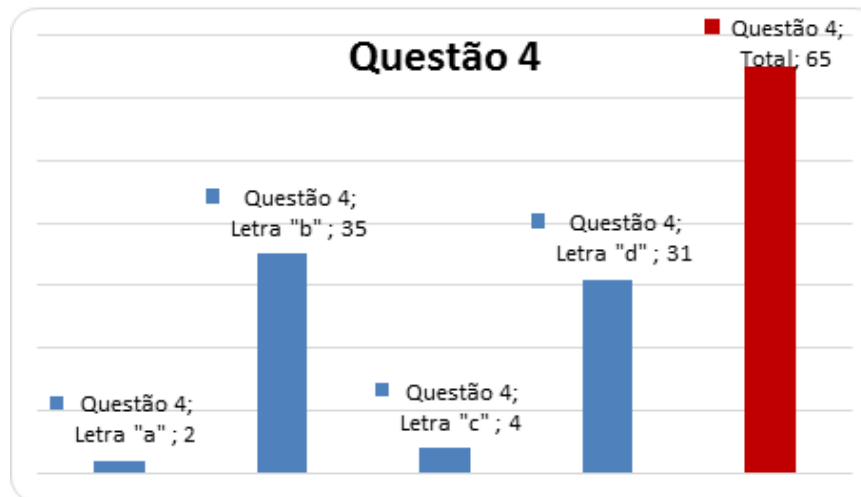
4) Uma onda estabelecida numa corda oscila com frequência de 500 Hz, de acordo com a figura abaixo:



- Qual o período dessa onda?
- Qual a amplitude dessa onda?
- Com que velocidade a onda se propaga?
- Essa onda é transversal ou longitudinal?

Fonte: Arquivo da pesquisa.

Gráfico 3 - Número de acertos em cada um dos itens da questão discursiva em relação ao total de alunos participantes



Fonte: Arquivo da pesquisa.

Podemos perceber aqui uma notável dificuldade por parte dos discentes, em identificar graficamente o período da onda. A grande maioria compreendeu que tratava - se do eixo horizontal, porém, responderam que o período corresponde a 50 cm, simplesmente por ser onde o gráfico se encerra.

Foi também muito relevante, o ínfimo número de acertos integrais na letra “ c” da questão, o que supomos se originar de defasagens na aprendizagem de operações matemáticas básicas, e do próprio resultado errado que obtiveram na letra “a” da qual dependia o item “c”. Essa conclusão se deve ao fato de que a maioria escreveu a fórmula que deveria ser usada, mas não atingiu o resultado final correto.

Esse índice insatisfatório nos itens supracitados, apesar da notória defasagem matemática manifesta pelos alunos, não nos exime da responsabilidade de repensar pontos da nossa metodologia que possam ser melhorados para mudar esse cenário.

Nota-se, porém que os índices de acertos nos itens “b” e “d”, que tratam de amplitude e forma da onda, foram significativos. Consideramos esse fato um fator muito positivo, pois nos parece que os princípios fundamentais relacionados aos diferentes tipos de ondas e à ressonância, que constituíam nosso principal objetivo, foram compreendidos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A estratégia desenvolvida na sequência didática na qual se baseou nossa investigação aponta para a importância de se buscar uma relação de empatia com os estudantes quando se deseja que eles realmente se engajem no processo de aprendizagem.

A espontaneidade, a criatividade, o sentido lúdico e o espírito de cooperação, visivelmente percebidas em nossas ações de investigação, podem, a nosso ver, indicar caminhos para o surgimento de um ambiente favorável às situações de ensino e aprendizagem em sala de aula.

As propostas pedagógicas, por exemplo, associadas à prática teatral desenvolvidas por Augusto Boal, apresentadas no “Teatro do Oprimido”, nos permite considerar e perceber como ocorrem manifestações criativas de soluções para as diversas formas de opressão, protagonizadas pelos oprimidos. Tais manifestações vêm complementar e efetivar o que em nossa visão se busca como objetivo, principalmente tomando como parâmetro as ideias libertadoras da pedagogia de Paulo Freire: a transformação individual e social e a educação como forma de libertação.

Pudemos perceber ao longo de nossa investigação como pode acontecer de forma efetiva a interação dos educandos entre si e entre eles e os educadores. Tal constatação nos remete à necessidade do estabelecimento de uma relação dialógica, com possibilidades potenciais de adaptação das formas de abordagem e da linguagem adequada para uma compreensão real de fenômenos e questões afins.

Ousamos destacar que o êxito que consideramos ter atingido em nossa pesquisa talvez esteja relacionado de uma forma bastante estreita com conexão entre os saberes prévios de cada aluno e as novas versões desses conhecimentos trabalhados no decorrer da atividade. Percebemos que essas práticas, destacadas como essenciais no trabalho de Paulo Freire, estiveram presentes em todas as nossas ações.

No caso específico do conteúdo tratado nesse trabalho, acreditamos que, a apreensão dos significados relacionando ondas e ressonância ocorreu de forma satisfatória, uma vez que julgamos ter conseguido realizar uma síntese adequada dos conceitos envolvidos e os aportes oferecidos pelos referenciais utilizados.

Percebemos também, a partir de nossas observações na análise dos dados coletados, o quão efetivo pode acontecer o surgimento de correlações entre conteúdos diversos, e entre esses conteúdos e o cotidiano, considerando, nesse sentido, os preceitos estabelecidos nas

bases dos parâmetros curriculares e, de uma forma mais ampla, nas ideias associadas à Lei de Diretrizes e Bases de 1996.

Vislumbramos assim, a possibilidade de se trabalhar conceitos físicos, inicialmente abstratos e aparentemente distanciados do mundo real, por meio de atividades lúdicas que motivem uma participação ativa dos estudantes nas aulas.

No decorrer das atividades foi perceptível o afloramento de talentos e habilidades, sendo visível a evolução de algumas potencialidades como: oralidade, leitura, interpretação, expressão corporal e capacidade de trabalhar em equipe.

Considerando a observação e a análise dos resultados, acreditamos ter atingido de modo razoável e satisfatório nossa meta inicial, que em essência, é colaborar para a inovação de práticas educativas visando melhores resultados e reflexos positivos no ensino e aprendizagem de Física e na percepção do conhecimento científico como forma de transformação social.

Nesse contexto consideramos que o Teatro Científico, se utilizado de forma planejada e de modo conveniente para ações em sala de aula, pelo que pudemos avaliar, pode ser utilizado como uma estratégia bastante eficaz na relação ensino e aprendizagem. O aspecto lúdico e até despojado no tratamento dos conteúdos a ensinar, parece se mostrar uma estratégia alternativa, que, se bem elaborada e conduzida, poderá atingir resultados significativos.

Pensamos enfim ter desenvolvido uma estratégia, que entre tantas outras possíveis, merece uma mais cuidadosa atenção, muito em função de seu perfil diferenciado. Contudo, a experiência na elaboração e desenvolvimento desse trabalho nos leva a incentivar a prática recorrente de estratégias alternativas de ensino. E que estas devam ser planejadas e executadas, de modo a oferecer ações didático-pedagógicas que venham a despertar efetivamente em nossos educandos o prazer e a curiosidade pelo conhecimento.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, Guilherme Augusto de Domenico. **O teatro na educação científica e tecnológica: sentidos, interpretação e produção em uma peça teatral que conta uma história de/sobre ciência.** 2014. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2014.

BATISTA, Denis Nunes; RIBEIRO, Eutícia Maria Lucena; PEREIRA, Antonildo; SOUTO, Altamir; RODRIGUES, Rodrigo. O teatro científico no Brasil e o ensino de física. In: Simpósio Nacional de ensino de Física, XVIII, 2009, João Pessoa/PB. **Anais...** João Pessoa/PB: Universidade Estadual da Paraíba, 2009. Disponível em: <http://www.cienciamao.usp.br/dados/snef/_oteatrocientificonobrasil.trabalho.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2016.

BOAL, Augusto. **Técnicas latino-americanas de teatro popular: uma revolução copernicana ao contrário.** São Paulo: Hucitec, 1975.

_____. **Jogos para Atores e Não-Atores.** Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1999.

_____. **Teatro do oprimido e outras poéticas políticas.** 8 ed. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2008.

BRASIL. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei n. 9.394, de 20 de dezembro de 1996.** Estabelece Diretrizes e Bases para a educação nacional. Brasília: Casa Civil, 1996.

_____. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: ensino médio.** Brasília: MEC/SEMTEC, 1999.

_____. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio – Física (Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais).** Brasília: MEC, 2002.

BRECH, Bertolt. **Estudos Sobre Teatro.** Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1978.

COURTNEY, Richard. **Jogo, teatro e pensamento.** São Paulo: Perspectiva, 2006.

DEWEY, John. **Liberalismo, Liberdade e Cultura.** São Paulo: Editora Nacional, 1970.

_____. **Como pensamos: como se relaciona o pensamento reflexivo com o processo educativo, uma exposição.** Tradução de Haydée Camargo Campos. 4^a ed. São Paulo: Editora Nacional, 1979.

_____. O Desenvolvimento do Pragmatismo Americano. **Revista Latino-americana de Filosofia e História da Ciência,** São Paulo, v. 5, n. 2, p. 227-243, 2007.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia do Oprimido**. 17^a ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

_____. **A importância do ato de ler: em três artigos que se completam**. São Paulo: Autores Associados: Cortez, 1989.

_____. **Pedagogia da Autonomia: Saberes necessários à prática educativa**. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

GOMES, Candido Alberto. **Darcy Ribeiro**. Recife: Fundação Joaquim Nabuco/Editora Massangana, 2010.

HAGE, Maria Cristina Ferrarini Nunes Soares; IWASAKI, Masao. **Imagem por ressonância magnética: princípios básicos**. Ciência Rural, Santa Maria, v.39, n.4, p.1287-1295, jul, 2009

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. **Física**. 4^a. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 1991.

KANT, Immanuel. **Sobre a Pedagogia**. Tradução de Francisco Cock Fontanella. 5^a ed. São Paulo: Unimep, 2006.

LIBÂNEO, José Carlos. **Democratização da escola pública: pedagogia crítico-social dos conteúdos**. São Paulo: Edições Loyola, 1985.

LUCKESI, Cipriano. **Filosofia da educação**. São Paulo: Cortez, 1994.

LUFKIN, Robert B. **Manual de Ressonância Magnética**. 2^a ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1990.

MAZZOLA, Alessandro A. Ressonância magnética: princípios de formação da imagem e aplicações em imagem funcional. **Revista Brasileira de Física Médica**, v. 3, n. 1, p. 117-129, 2009. Disponível em: <<http://www.rbfm.org.br/index.php/rbfm/article/view/51/v3n1p117>>. Acesso em: 8 ago. 2015.

MELO, Felipe Henrique da Silva. Ensino de física e teatro: mapeamento bibliográfico dos periódicos brasileiros. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, Itapetininga, v. 2, n. 3, p. 34-41, 2015.

MOREIRA, Leonardo Maciel; MARANDINO, Martha. Teatro de temática científica: conceituação, conflitos, papel pedagógico e contexto brasileiro. **Ciênc. Educ.**, Bauru, v. 21, n. 2, p. 511-523, 2015.

NUNES, Clarice. **Anísio Teixeira**. Recife: Fundação Joaquim Nabuco/Editora Massangana, 2010.

NUSSENZVEIG, Herch Moisés. **Curso de Física Básica 2**. São Paulo: Edgard Blücher, 1981.

PAGNI, Pedro Ângelo. **Do Manifesto de 1932 à Construção de um Saber Pedagógico: ensaiando um diálogo entre Fernando de Azevedo e Anísio Teixeira.** Ijuí: Editora Injuí, 2000.

PANEPUCCI, Horácio Carlos; DONOSO, João Pedro; TANNÚS, Alberto; BECKMANN, A.; BONAGAMBA, Tito José. Tomografia Por Ressonância Magnética Nuclear: Novas Imagens do Corpo. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, p. 46-56, set. 1985.

REVERBEL, Olga. **Jogos teatrais na escola: atividades globais de expressão.** São Paulo: Scipione, 1989.

RIBEIRO, Darcy. Anísio Teixeira, pensador e homem de ação. In: AZEVEDO, Fernando et.al. **Anísio Teixeira, pensamento e ação.** Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1960.

_____, Darcy. **O Brasil como Problema.** 2^a. Ed. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1995.

TAVARES, Renan. **Teatro Oficina de São Paulo: seus dez primeiros anos (1958-1968).** São Caetano do Sul, São Paulo: Yends, 2006.

TIPLER, Paul Allen. **Física para cientistas e engenheiros: Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica.** 4. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

YOUNG, Hugh. D.; FREEDMAN, Roger. A. **Física II: Termodinâmica e ondas.** 12^a ed. São Paulo: Addison Wesley, 2008.

ZABALA, Antoni. **A Prática Educativa: como ensinar.** Porto Alegre: Artmed, 1998.

Apêndice A - Questionário

Questionário sobre concepções de ondulatória para o 3º ano do ensino médio.

- 1) O que é uma onda na sua concepção?
- 2) Quais tipos de ondas diferentes você conhece?
- 3) Como você acredita que surge uma onda?
- 4) Você já ouviu falar em movimento oscilatório ou movimento periódico? Se sim, tente explicar o que é e cite exemplo(s).
- 5) O que é período na sua concepção?
- 6) O que é frequência na sua concepção?
- 7) Você já ouviu falar em ressonância? Se sim, tente explicar o que significa, com suas palavras.

Apêndice B - Diálogo a ser encenado

Professor: Bom dia! Hoje vamos começar a estudar Oscilações e Ondas.

Aluno 1: Onda do mar *fessor* [sic]?

Professor: Também pode ser, essa e outros tipos.

Aluno 2: Só conheço essa.

Professor: Tem certeza?

Aluno 2: Sim, e não sei para que estudar isso, não serve para nada *vêi* [sic]!!!

Aluna 3: Pelo que eu sei, serve sim! Usam-se os estudos da Física para criar muitas coisas que utilizamos, como TV, celular, etc.

Aluno 4: Kkkkk [risos]

Você não sabe nada, só de chapinha de cabelo e batom.

Aluna 3: Ah, disso também. De fato, tem muita física no funcionamento da chapinha e até na engenharia do batom.

Professor: Isso mesmo aluna 3, os fenômenos físicos estão presentes em tudo que fazemos e utilizamos.

O que você fez desde que acordou até chegar à escola hoje, aluno 4?

Aluno 4: *Xô vê* [sic]... Levantei, escovei os *dente* [sic], comi um *troço* [sic] lá, subi no *buzão* [sic] e *vim* [sic] ouvindo música no fone.

Professor: Como você acordou?

Aluno 4: Com os grito da minha mãe.

Professor: Hum, o que são gritos?

Aluno 1: Grito é grito ué!

Aluna 2: Grito é um som.

Professor: O que é um som? Como chega aos nossos ouvidos?

Aluno 2: Sai da boca de alguém e chega até o ouvido ué!

Aluno 4: Sai como? Igual a onda do mar quando vem chegando?

Professor: Muito bem aluno 4, é parecido, o som é uma onda!! Viu, você foi acordado pela física?! Vamos ver onde mais a encontramos em sua vida. O *troço* [sic] que você comeu, você esquentou?

Aluno 4: Sim! Esquentei o pão no micro-ondas.

Aluna 1: Micro-ondas faz onda?

Professor: Sim, exatamente. Já se perguntaram como ele aquece o alimento?

Aluno 4: Fazendo calor ué!

Aluna 3: Claro que não! Ele emite ondas que interagem com os alimentos não é professor?

Aluno 2: Você não sabe!!

Professor: Sim! As ondas que são produzidas oscilam de forma semelhante às moléculas de água contidas nos alimentos, aumentando a vibração delas.

Aluna 2: Tem outros tipos de ondas?

Professor: Tem sim, estamos sendo atravessados por ondas o tempo todo. Ondas de rádio, de celular, ondas térmicas, ondas luminosas...

Aluna 1: Térmicas?

Professor: A transferência de calor ocorre muitas vezes por ondas de radiação térmica, é como sentimos o calor que vem de uma fogueira ou do Sol...

Aluna 4: Então o som, a onda do mar, o calor do Sol é tudo a mesma coisa?

Professor: Mais ou menos... São ondas, porém de tipos diferentes, a do mar e do som são chamadas de ondas mecânicas, pois precisam de um meio para se propagarem. Já as de rádio, celular e radiações do Sol, tanto visíveis como invisíveis podem se propagar no vazio, no vácuo e são chamadas de ondas eletromagnéticas.

Professor: Apesar de serem de tipos diferentes, todas elas têm algo em comum. Pensem o que poderia ser...

Aluna 3: Uma leva calor, outra leva som...elas levam sempre algo

Professor: Sim. Elas levam energia! Isso caracteriza uma onda: a transferência de energia.

Aluno 2: O que faz surgir as ondas?

Professor: O que vocês acham. Vamos escrevendo o que poderia ser... Lembrem-se dos vídeos.

Aluno 4: Surge de uma oscilação.

Professor: Muito bom!

Professor: E aquela ponte que se torceu igual papel, asas dos aviões vibrando cada vez mais... Como aconteceu aquilo? O vento ou outros fatores ambientais estimulam as estruturas a oscilações cada vez maiores, ou seja, aumenta o que chamamos de amplitude de oscilação. Mas não serve qualquer estímulo não (dar exemplo do balanço). Cada coisa tem um tipo de vibração própria. Para aumentar a amplitude temos que produzir uma vibração de mesma frequência da natural. Chamamos esse fenômeno de Ressonância.

Aluno 1: Que nem a *parada* [sic] do micro-ondas com as moléculas?

Professor: Sim!! Perfeito.

Aluno 3: Igual a ressonância magnética professor?

Professor: Exato. Só que na ressonância magnética, o campo magnético emitido pelo aparelho se alinha com as moléculas do nosso corpo.

Apêndice C - Questões de exames de seleção

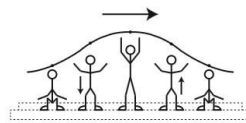
1. (UFJF - 2007) Sabe-se que a velocidade de propagação de uma onda eletromagnética depende do meio em que a mesma se propaga. Assim sendo, pode-se afirmar que uma onda eletromagnética na região do visível, ao mudar de um meio para outro:

- a) tem a velocidade de propagação alterada, bem como a sua frequência.
- b) tem a sua cor alterada, permanecendo com a mesma frequência.
- c) tem a velocidade de propagação alterada, bem como a frequência e o comprimento de onda.
- d) tem a velocidade de propagação alterada, bem como o seu comprimento de onda.
- e) tem a sua cor inalterada, permanecendo com o mesmo comprimento de onda.

2. (ENEM - 2013) Em viagens de avião, é solicitado aos passageiros o desligamento de todos os aparelhos cujo funcionamento envolva a emissão ou a recepção de ondas eletromagnéticas. O procedimento é utilizado para eliminar fontes de radiação que possam interferir nas comunicações via rádio dos pilotos com a torre de controle. A propriedade das ondas emitidas que justifica o procedimento adotado é o fato de:

- a) terem fases opostas.
- b) serem ambas audíveis.
- c) terem intensidades inversas.
- d) serem de mesma amplitude.
- e) terem frequências próximas.

3. (ENEM - 2013). Uma manifestação comum das torcidas em estádios de futebol é a ola mexicana. Os espectadores de uma linha, sem sair do lugar e sem se deslocarem lateralmente, ficam de pé e se sentam, sincronizados com os da linha adjacente. O efeito coletivo se propaga pelos espectadores do estádio, formando uma onda progressiva, conforme ilustração.



Ola mexicana feita por torcedores em estádios de futebol

Calcula-se que a velocidade de propagação dessa “onda humana” é 45 km/h, e que cada período de oscilação contém 16 pessoas, que se levantam e sentam organizadamente e distanciadas entre si por 80 cm. Nessa ola mexicana, a frequência da onda, em hertz, é um valor mais próximo de:

- a) 0,3
- b) 0,5
- c) 1,0
- d) 1,9
- e) 3,7

4. (ENEM - 2014) Alguns sistemas de segurança incluem detectores de movimento. Nesses sensores, existe uma substância que se polariza na presença de radiação eletromagnética de certa região de frequência, gerando uma tensão que pode ser amplificada e empregada para efeito de controle. Quando uma pessoa se aproxima do sistema, a radiação emitida por seu corpo é detectada por esse tipo de sensor. A radiação captada por esse detector encontra-se na região de frequência:

- a) da luz visível. b) do ultravioleta. c) do infravermelho. d) das micro-ondas.

5. (ENEM - 2014) M. Christiaan Huygens, em 1656, criou o relógio de pêndulo. Nesse dispositivo, a pontualidade baseia-se na regularidade das pequenas oscilações do pêndulo. Para manter a precisão desse relógio, diversos problemas foram contornados. Por exemplo, a haste passou por ajustes até que no início do século XX, houve uma inovação, que foi sua fabricação usando uma liga metálica que se comporta regularmente em um largo intervalo de temperaturas. Desprezando a presença de forças dissipativas e considerando a aceleração da gravidade constante, para que esse tipo de relógio realize corretamente a contagem do tempo, é necessário que o (a):

- a) comprimento da haste seja mantido constante.
b) massa do corpo suspenso pela haste seja pequena.
c) material da haste possua alta condutividade térmica.
d) amplitude da oscilação seja constante a qualquer temperatura.
e) energia potencial gravitacional do corpo suspenso se mantenha constante.

6. (ENEM - 2010) As ondas eletromagnéticas, como a luz visível e as ondas de rádio, viajam em linha reta em um meio homogêneo. Então, as ondas de rádio emitidas na região litorânea do Brasil não alcançariam a região amazônica do Brasil por causa da curvatura da Terra. Entretanto sabemos que é possível transmitir ondas de rádio entre essas localidades devido à ionosfera. Com a ajuda da ionosfera, a transmissão de ondas planas entre o litoral do Brasil e a região amazônica é possível por meio da:

- A) reflexão. B) refração. C) difração. D) polarização.

Apêndice D - Avaliação final

1) (ENEM - 2014). Ao sintonizarmos uma estação de rádio ou um canal de TV em um aparelho, estamos alterando algumas características elétricas de seu circuito receptor. Das inúmeras ondas eletromagnéticas que chegam simultaneamente ao receptor, somente aquelas que oscilam com determinada frequência resultarão em máxima absorção de energia. O fenômeno descrito é a:

- (A) difração.
- (B) refração.
- (C) polarização.
- (D) interferência.
- (E) ressonância.

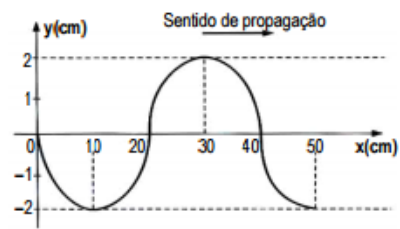
2) (ENEM - 2012) Nossa pele possui células que reagem à incidência de luz ultravioleta e produzem uma substância chamada melanina, responsável pela pigmentação da pele. Pensando em se bronzear, uma garota vestiu um biquíni, acendeu a luz de seu quarto e deitou-se exatamente abaixo da lâmpada incandescente. Após várias horas ela percebeu que não conseguiu resultado algum. O bronzeamento não ocorreu porque a luz emitida pela lâmpada incandescente é de

- (A) baixa intensidade.
- (B) baixa frequência.
- (C) um espectro contínuo.
- (D) amplitude inadequada.
- (E) curto comprimento de onda.

3) Marque a alternativa que indica corretamente a frequência do ponteiro dos segundos em hertz:

- (A) 60
- (B) 30
- (C) 1/60
- (D) 120
- (E) 1/120

4) Uma onda estabelecida numa corda oscila com frequência de 500 Hz, de acordo com a figura abaixo:



- Qual o período dessa onda?
- Qual a amplitude dessa onda?
- Com que velocidade a onda se propaga?
- Essa onda é transversal ou longitudinal?

Apêndice E – Sequência didática fundamentada no teatro científico para auxílio na aprendizagem do conteúdo de oscilações e ondas

PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA ENSINO DE OSCILAÇÕES E ONDAS

Prezado professor, essa proposta de sequência didática tem como objetivo auxiliá-lo na transposição didática dos conteúdos de oscilações e ondas, a fim de tentar tornar o conteúdo mais acessível e mais contextualizado para os alunos.

Para isso utilizamos o recurso da expressão corporal, da teatralidade, que nos permite tornar o aprendizado mais lúdico, interativo e sobretudo mais efetivo.

Ao trilhar esse caminho seguimos os passos de Augusto Boal, teatrólogo brasileiro. Autor, diretor e teórico, Boal foi um dos mais importantes nomes do teatro brasileiro a partir da década de 60. Era ligado ao Teatro de Arena de São Paulo até os anos 70 e produziu sua obra inspirada em Paulo Freire criando métodos únicos de encenação como o *Teatro Foro* e o *Teatro Invisível*, técnica utilizada no nosso trabalho. Boal trabalhou também com o Teatro Científico, dirigindo a peça “A vida de Galileu Galilei” de autoria de Berthold Brech.

Formulamos então, a partir dessas ideias e realizações, a sequência didática que envolve diálogos abordando os temas referentes a *Oscilações e Ondas*, encenados pelos alunos juntamente com o professor.

A sequência didática é composta de 6 aulas conforme se segue, mas o professor pode realizar algumas alterações, se assim o desejar

Aula 1: Aplicação de questionário sobre MHS, Oscilações e Ondas a fim de sondar o que os alunos entendem por conceitos como: Oscilação, Onda, Frequência, Período, Amplitude, Ressonância. Em seguida indaga-se quais alunos têm interesse em participar de encenações teatrais. Constituído esse grupo de interesse, fornece-se aos membros um diálogo que versa sobre as questões a serem abordadas. Os estudantes desse grupo são então orientados a encenarem o diálogo, e se tornam responsáveis pela dinâmica da discussão a ser desenvolvida. O professor tem papel fundamental na mediação e condução das discussões.

Sugestão de Questionário

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

1. O que é uma onda na sua concepção?

2. Quais tipos de ondas diferentes você conhece?
3. Como você acredita que surge uma onda?
4. Você já ouviu falar em movimento oscilatório ou movimento periódico? Se sim, tente explicar o que é e cite exemplo(s).
5. O que é período na sua concepção?
6. O que é frequência na sua concepção?
7. Você já ouviu falar em ressonância? Se sim, tente explicar o que significa, com suas palavras

Aula 2: Apresentação de vídeos mostrando situações reais em que ocorre o fenômeno de ressonância e suas consequências, para toda a turma, intermediando possíveis discussões e incentivando reflexões. Esses vídeos mostram casos em que a ressonância ocorre de forma clara em situações cotidianas como o vento interagindo com asas de aviões, aumento de amplitudes de vibração em pontes, interação das ondas sonoras com o seu meio de propagação.

Aula 3: Encenação do diálogo ensaiado previamente com os alunos que mostraram interesse em atuar, sem que o restante da turma tenha conhecimento, porém tenha oportunidade de intervir e participar, nos moldes do que Boal denomina “Teatro Invisível”. Esse diálogo é a espinha dorsal da atividade, e deve ser bem conduzida, de modo que todos os alunos mostrem interesse e possam participar efetivamente. Como pode ocorrer de alguns alunos mostrarem desinteresse pelo assunto, em particular por conta da Física em geral ser considerada de difícil entendimento, é conveniente que algum aluno “ator” faça o papel de desinteressado e até procurando desestabilizar a aula. Nesse caso, o professor poderá preparar esse aluno para que vá, ao longo do diálogo, procurando reverter suas posições.

Segue o diálogo:

Professor: Bom dia! Hoje vamos começar a estudar Oscilações e Ondas.

Aluno 1: Onda do mar *fessor* [sic]?

Professor: Também pode ser, essa e outros tipos.

Aluno 2: Só conheço essa.

Professor: Tem certeza?

Aluno 2: Sim, e não sei para que estudar isso, não serve para nada *vêi* [sic]!!!

Aluna 3: Pelo que eu sei, serve sim! Usam-se os estudos da Física para criar muitas coisas que utilizamos, como TV, celular, etc.

Aluno 4: Kkkkk [risos]

Você não sabe nada, só de chapinha de cabelo e batom.

Aluna 3: Ah, disso também. De fato, tem muita física no funcionamento da chapinha e até na engenharia do batom.

Professor: Isso mesmo aluna 3, os fenômenos físicos estão presentes em tudo que fazemos e utilizamos.

O que você fez desde que acordou até chegar à escola hoje, aluno 4?

Aluno 4: *Xô vê* [sic]... Levantei, escovei os *dente* [sic], comi um *troço* [sic] lá, subi no *buzão* [sic] e *vim* [sic] ouvindo música no fone.

Professor: Como você acordou?

Aluno 4: Com os grito da minha mãe.

Professor: Hum, o que são gritos?

Aluno 1: Grito é grito ué!

Aluna 2: Grito é um som.

Professor: O que é um som? Como chega aos nossos ouvidos?

Aluno 2: Sai da boca de alguém e chega até o ouvido ué!

Aluno 4: Sai como? Igual a onda do mar quando vem chegando?

Professor: Muito bem aluno 4, é parecido, o som é uma onda!! Viu, você foi acordado pela física?! Vamos ver onde mais a encontramos em sua vida. O *troço* [sic] que você comeu, você esquentou?

Aluno 4: Sim! Esquentei o pão no micro-ondas.

Aluna 1: Micro-ondas faz onda?

Professor: Sim, exatamente. Já se perguntaram como ele aquece o alimento?

Aluno 4: Fazendo calor ué!

Aluna 3: Claro que não! Ele emite ondas que interagem com os alimentos não é professor?

Aluno 2: Você não sabe!!

Professor: Sim! As ondas que são produzidas oscilam de forma semelhante às moléculas de água contidas nos alimentos, aumentando a vibração delas.

Aluna 2: Tem outros tipos de ondas?

Professor: Tem sim, estamos sendo atravessados por ondas o tempo todo. Ondas de rádio, de celular, ondas térmicas, ondas luminosas...

Aluna 1: Térmicas?

Professor: A transferência de calor ocorre muitas vezes por ondas de radiação térmica, é como sentimos o calor que vem de uma fogueira ou do Sol...

Aluna 4: Então o som, a onda do mar, o calor do Sol é tudo a mesma coisa?

Professor: Mais ou menos... São ondas, porém de tipos diferentes, a do mar e do som são chamadas de ondas mecânicas, pois precisam de um meio para se propagarem. Já as de rádio, celular e radiações do Sol, tanto visíveis como invisíveis podem se propagar no vazio, no vácuo e são chamadas de ondas eletromagnéticas.

Professor: Apesar de serem de tipos diferentes, todas elas têm algo em comum. Pensem o que poderia ser...

Aluna 3: Uma leva calor, outra leva som...elas levam sempre algo

Professor: Sim. Elas levam energia! Isso caracteriza uma onda: a transferência de energia.

Aluno 2: O que faz surgir as ondas?

Professor: O que vocês acham. Vamos escrevendo o que poderia ser... Lembrem-se dos vídeos.

Aluno 4: Surge de uma oscilação.

Professor: Muito bom!

Professor: E aquela ponte que se torceu igual papel, asas dos aviões vibrando cada vez mais... Como aconteceu aquilo? O vento ou outros fatores ambientais estimulam as estruturas a oscilações cada vez maiores, ou seja, aumenta o que chamamos de amplitude de oscilação. Mas não serve qualquer estímulo não (dar exemplo do balanço). Cada coisa tem um tipo de vibração própria. Para aumentar a amplitude temos que produzir uma vibração de mesma frequência da natural. Chamamos esse fenômeno de Ressonância.

Aluno 1: Que nem a *parada* [sic] do micro-ondas com as moléculas?

Professor: Sim!! Perfeito.

Aluno 3: Igual a ressonância magnética professor?

Professor: Exato. Só que na ressonância magnética, o campo magnético emitido pelo aparelho se alinha com as moléculas do nosso corpo.

Observações a respeito do diálogo

Explicações de conteúdo durante os diálogos não se mostraram proveitosas, uma vez que os alunos que ensaiaram perderam o ritmo da encenação, além de não se mostrarem muito

necessárias, pois os próprios alunos que não tinham as falas ensaiadas interviram, permitindo ao professor fazer as devidas intervenções.

Aula 4: Aula expositiva abordando os conceitos de: período, frequência, comprimento de onda, amplitude e formas de propagação de ondas (para isso utilizamos também uma encenação não ensaiada, com alunos voluntários), bem como a dedução da expressão $v = \lambda \cdot f$ e formas de propagação de ondas. Nesse último item utilizamos uma encenação não ensaiada, com alunos voluntários, procurando dar sequência à maneira descontraída e lúdica desenvolvida na aula anterior.

Como nossa pesquisa revelou um baixo desempenho dos alunos nas questões que exigiam a aplicação de fórmulas e operações matemáticas, sugerimos ao professor que desejar utilizar-se desse material que trabalhe essa etapa em duas aulas e retome os vídeos que tratam da relação entre oscilações e ondas e da forma de propagação das ondas, a fim de que fique mais claro os significados de frequência, período, amplitude, direção e velocidade de propagação.

Aula 5: Resolução e discussão de questões retiradas de exames anteriores do “ENEM”. A ideia aqui é mostrar aos alunos que num exame de seleção como esse surgem itens que exigem conhecimento teórico sem a necessidade de cálculos, e mesmo quando os cálculos aparecem, necessitam um conhecimento teórico mais profundo sobre o assunto.

Seguem como sugestão algumas questões que podem ser discutidas:

Questões de exames de seleção

1. (UFJF - 2007) Sabe-se que a velocidade de propagação de uma onda eletromagnética depende do meio em que a mesma se propaga. Assim sendo, pode-se afirmar que uma onda eletromagnética na região do visível, ao mudar de um meio para outro:

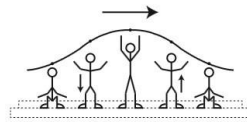
- a) tem a velocidade de propagação alterada, bem como a sua frequência.
- b) tem a sua cor alterada, permanecendo com a mesma frequência.
- c) tem a velocidade de propagação alterada, bem como a frequência e o comprimento de onda.
- d) tem a velocidade de propagação alterada, bem como o seu comprimento de onda.
- e) tem a sua cor inalterada, permanecendo com o mesmo comprimento de onda.

2. (ENEM - 2013) Em viagens de avião, é solicitado aos passageiros o desligamento de todos os aparelhos cujo funcionamento envolva a emissão ou a recepção de ondas eletromagnéticas. O procedimento é utilizado para eliminar fontes de radiação que possam interferir nas comunicações via rádio dos pilotos com a torre de controle. A propriedade das ondas emitidas que justifica o procedimento adotado é o fato de:

- a) terem fases opostas.
- b) serem ambas audíveis.

- c) terem intensidades inversas.
- d) serem de mesma amplitude.
- e) terem frequências próximas.

3. (ENEM - 2013). Uma manifestação comum das torcidas em estádios de futebol é a ola mexicana. Os espectadores de uma linha, sem sair do lugar e sem se deslocarem lateralmente, ficam de pé e se sentam, sincronizados com os da linha adjacente. O efeito coletivo se propaga pelos espectadores do estádio, formando uma onda progressiva, conforme ilustração.



Ola mexicana feita por torcedores em estádios de futebol

Calcula-se que a velocidade de propagação dessa “onda humana” é 45 km/h, e que cada período de oscilação contém 16 pessoas, que se levantam e sentam organizadamente e distanciadas entre si por 80 cm. Nessa ola mexicana, a frequência da onda, em hertz, é um valor mais próximo de:

- a) 0,3
- b) 0,5
- c) 1,0
- d) 1,9
- e) 3,7

4. (ENEM - 2014) Alguns sistemas de segurança incluem detectores de movimento. Nesses sensores, existe uma substância que se polariza na presença de radiação eletromagnética de certa região de frequência, gerando uma tensão que pode ser amplificada e empregada para efeito de controle. Quando uma pessoa se aproxima do sistema, a radiação emitida por seu corpo é detectada por esse tipo de sensor. A radiação captada por esse detector encontra-se na região de frequência:

- a) da luz visível.
- b) do ultravioleta.
- c) do infravermelho.
- d) das micro-ondas.

5. (ENEM - 2014) M. Christiaan Huygens, em 1656, criou o relógio de pêndulo. Nesse dispositivo, a pontualidade baseia-se na regularidade das pequenas oscilações do pêndulo. Para manter a precisão desse relógio, diversos problemas foram contornados. Por exemplo, a haste passou por ajustes até que no início do século XX, houve uma inovação, que foi sua fabricação usando uma liga metálica que se comporta regularmente em um largo intervalo de temperaturas. Desprezando a presença de forças dissipativas e considerando a aceleração da gravidade constante, para que esse tipo de relógio realize corretamente a contagem do tempo, é necessário que o (a):

- a) comprimento da haste seja mantido constante.
- b) massa do corpo suspenso pela haste seja pequena.
- c) material da haste possua alta condutividade térmica.
- d) amplitude da oscilação seja constante a qualquer temperatura.
- e) energia potencial gravitacional do corpo suspenso se mantenha constante.

6. (ENEM - 2010) As ondas eletromagnéticas, como a luz visível e as ondas de rádio, viajam em linha reta em um meio homogêneo. Então, as ondas de rádio emitidas na região litorânea do Brasil não alcançariam a região amazônica do Brasil por causa da curvatura da Terra. Entretanto sabemos que é possível transmitir ondas de rádio entre essas localidades devido à ionosfera. Com a ajuda da ionosfera, a transmissão de ondas planas entre o litoral do Brasil e a região amazônica é possível por meio da:

- A) reflexão. B) refração. C) difração. D) polarização.

Aulas 6: Avaliação para verificar se os conceitos físicos e suas aplicações foram apreendidos . Nessa etapa, procuramos oferecer questões que pudessem verificar o nível de aprendizagem tanto no que se refere a conhecimento exclusivamente descritivo, e até de exclusiva memorização, bem como o envolvimento de cálculos, procurando perceber se o conteúdo foi assimilado de forma consciente e crítica.

Segue sugestão de avaliação final, contendo duas questões retiradas de provas do Enem, buscando mostrar que o conteúdo teórico abordado nos diálogos e nas aulas são efetivamente exigidos nesses exames, e duas questões que envolvem a aplicação de fórmulas e conceitos matemáticos associados, a fim de averiguar se o método aplicado atende também a esse propósito.

Sugestão de avaliação final

1) (ENEM - 2014). Ao sintonizarmos uma estação de rádio ou um canal de TV em um aparelho, estamos alterando algumas características elétricas de seu circuito receptor. Das inúmeras ondas eletromagnéticas que chegam simultaneamente ao receptor, somente aquelas que oscilam com determinada frequência resultarão em máxima absorção de energia. O fenômeno descrito é a:

- (A) difração.
- (B) refração.
- (C) polarização.
- (D) interferência.
- (E) ressonância.

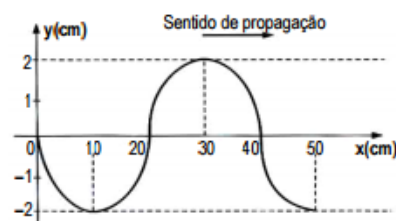
2) (ENEM - 2012) Nossa pele possui células que reagem à incidência de luz ultravioleta e produzem uma substância chamada melanina, responsável pela pigmentação da pele. Pensando em se bronzear, uma garota vestiu um biquíni, acendeu a luz de seu quarto e deitou-se exatamente abaixo da lâmpada incandescente. Após várias horas ela percebeu que não conseguiu resultado algum. O bronzeamento não ocorreu porque a luz emitida pela lâmpada incandescente é de

- (A) baixa intensidade.
- (B) baixa frequência.
- (C) um espectro contínuo.
- (D) amplitude inadequada.
- (E) curto comprimento de onda.

3) Marque a alternativa que indica corretamente a frequência do ponteiro dos segundos em hertz:

- (A) 60
- (B) 30
- (C) 1/60
- (D) 120
- (E) 1/120

4) Uma onda estabelecida numa corda oscila com frequência de 500 Hz, de acordo com a figura abaixo:



- a) Qual o período dessa onda?
- b) Qual a amplitude dessa onda?
- c) Com que velocidade a onda se propaga?
- d) Essa onda é transversal ou longitudinal?

OSCILAÇÕES E ONDAS: SUPORTE DIDÁTICO PARA O PROFESSOR

Conceitos fundamentais

Para que os fenômenos oscilatórios e ondulatórios sejam compreendidos deve-se ter em mente alguns conceitos a eles subjacentes, tais como: amplitude, período, frequência, e frequência angular.

A amplitude pode ser definida como o “alcance máximo” de uma oscilação: “A amplitude do movimento, designada por A, é o módulo máximo do vetor deslocamento do corpo a partir da posição de equilíbrio...” (YOUNG; FREEDMAN, 2008, p. 37)

O período designado por “T”, é o tempo necessário para que ocorra uma oscilação completa: “O período, T, é o tempo correspondente a um ciclo” (YOUNG; FREEDMAN, 2008, p. 37)

A frequência “f” consiste no número de oscilações ocorridas em um determinado intervalo de tempo “A frequência, f, é o número de ciclos por unidade de tempo” (YOUNG; FREEDMAN, 2008, p. 37)

A frequência angular “ ω ” é o ângulo $\Delta\theta$, percorrido, em radianos por unidade de tempo. Podemos obter uma relação entre a frequência e a frequência angular da seguinte forma:

Eq. (1)

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

O ângulo percorrido em uma oscilação completa vale 2π rad, e o tempo decorrido nessa oscilação é o período T. Substituindo ambos na equação 1, temos:

Eq. (2)

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

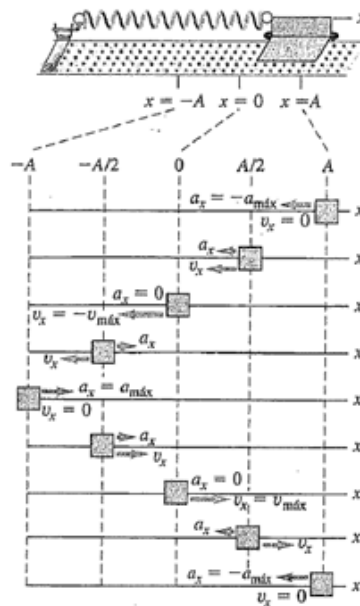
Ou ainda, $\omega = 2\pi f$

O Movimento Harmônico Simples (MHS) e sua analogia com o Movimento Circular Uniforme (MCU)

O MHS é importante porque com ele é possível descrever fenômenos oscilatórios de baixa amplitude que ocorrem no cotidiano. Vamos então estudá-lo mais profundamente. Observemos a figura abaixo e a análise das grandezas envolvidas no decorrer do tempo:

Esse tipo de oscilação corresponde ao chamado sistema “massa mola”, um dos modelos utilizados na análise de movimentos oscilatórios

Figura 1 - Variações das grandezas físicas no decorrer da oscilação

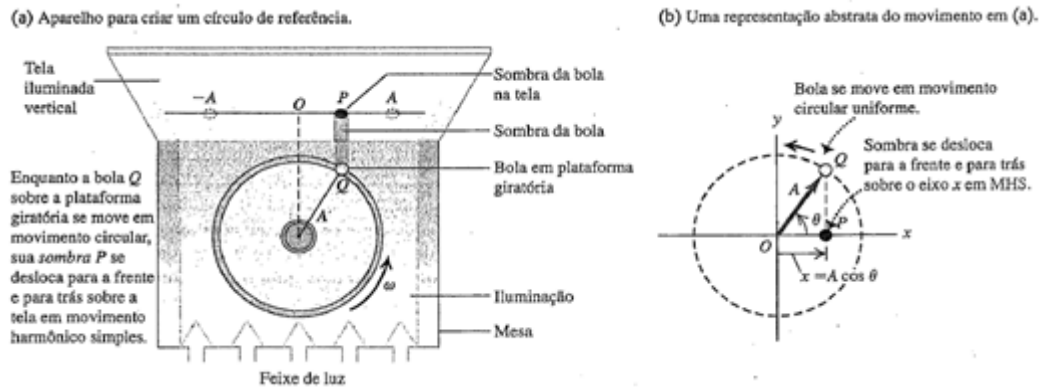


Fonte: Young; Freedman, 2008, p. 44.

Na figura acima estão dispostas características das grandezas cinemáticas posição, velocidade e aceleração para algumas posições ao longo da trajetória do corpo.

O comportamento periódico das grandezas no decorrer do tempo nos leva a uma analogia com as funções periódicas seno e cosseno, que por sua vez nos remetem ao movimento circular:

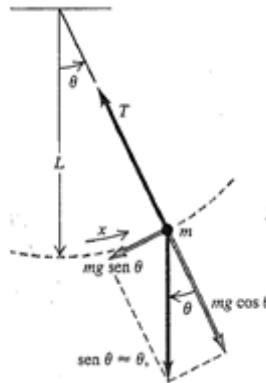
Figura 2 - Vista superior do Movimento Circular



Fonte: Young; Freedman, 2008, p.39.

Outro tipo de movimento periódico presente em nossa realidade é o movimento pendular. Por isso devemos abordar os aspectos fundamentais do Pêndulo Simples:

Figura 3 - Movimento do Pêndulo Simples projetado em um plano



Fonte: Adaptado de Young; Freedman, 2008, p.53.

Nesse caso, a força restauradora será a componente tangencial da massa oscilante:

Eq. (3)

$$F = -mg \sin \theta$$

Como para pequenas oscilações $\sin \theta \approx \theta$, temos:

$$F = -mg \theta$$

no entanto, $x = L \sin \theta$ ou $x = L \theta$, então:

Eq.(4)

$$F = -\frac{mg}{L}x$$

Como, $k = \frac{mg}{L}$ e dado que $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$, fica:

Eq. (5)

$$\omega = \sqrt{\frac{mg/L}{m}} = \sqrt{\frac{g}{L}}$$

A frequência e o período são:

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{L}}$$

Eq.(6)

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{f} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

Oscilações Forçadas e Ressonância

Quando a oscilação natural de um sistema sofre ação de uma força externa de mesma frequência dessa oscilação natural a amplitude do movimento tende a aumentar progressivamente, provocando o fenômeno denominado Ressonância.

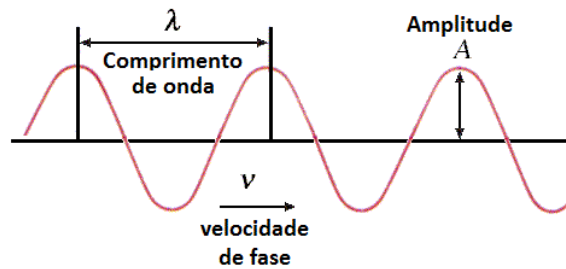
Ou ainda, nas palavras de Paul A. Tipler: “Quando a frequência de excitação é igual à frequência natural do oscilador, a energia absorvida pelo oscilador é máxima. Por isso, a frequência natural do sistema é denominada frequência de ressonância do sistema” (TIPLER, 2000, p.396).

Uma das aplicações do fenômeno mais conhecidas e utilizadas é a Ressonância Magnética, tendo se mostrado em nosso trabalho um tema estratégico como ponto de partida para discussão do assunto.

Representação de uma onda e suas características

As oscilações podem produzir ondas. Segundo Sears: “Uma onda surge quando um sistema é deslocado da sua posição de equilíbrio e a perturbação se desloca ou se propaga de uma região para outra do sistema” (YOUNG, 2008, p. 103).

Figura 3 - Elementos de uma onda



Fonte: Arquivo da internet Disponível em:

<<http://engenharia.unipinhal.edu.br/ondas/transversais/transversais.html>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

Deduzimos a partir daí uma equação para a velocidade de propagação dessa onda:

Eq. (7)

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Ou seja,

Eq. (8)

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

Como: $T = 1/f$, temos:

Eq. (9)

$$v = \lambda \cdot f$$

REFERÊNCIAS

BOAL, Augusto. **Técnicas latino-americanas de teatro popular**: uma revolução copernicana ao contrário. São Paulo: Hucitec, 1979.

_____. **Teatro do oprimido e outras poéticas políticas**. 8 ed. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2008.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. **Física**. 4^a. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 1991.

LUFKIN, Robert B. **Manual de Ressonância Magnética**. 2^a ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1990.

MAZZOLA, Alessandro A. Ressonância magnética: princípios de formação da imagem e aplicações em imagem funcional. **Revista Brasileira de Física Médica**, v. 3, n. 1, p. 117-129, 2009. Disponível em: <<http://www.rbfm.org.br/index.php/rbfm/article/view/51/v3n1p117>>. Acesso em: 8 ago. 2015.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física Básica 2**. São Paulo: Edgard Blücher, 1981.

TIPLER, Paul Allen. **Física para cientistas e engenheiros: Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica**. 4. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

YOUNG, Hugh. D.; FREEDMAN, Roger. A. **Física II: Termodinâmica e ondas**. 12^a ed. São Paulo: Addison Wesley, 2008.