

ATIVIDADES EXPERIMENTAIS SOBRE ONDAS MECÂNICAS À LUZ DA EPISTEMOLOGIA DE LAUDAN¹

Lizandra Botton Marion Morini [lizmorini@ibest.com.br]
Escola de Ensino Médio Antônio Kanabben
Rodovia SC 438 - km 199 – 88735-000, Gravatal, RS – Brasil.
Eliane Angela Veit [eav@if.ufrgs.br]
Fernando Lang da Silveira [lang@if.ufrgs.br]
Instituto de Física – UFRGS – Caixa Postal, 15051.
Campus do Vale, 91501-970, Porto Alegre, RS – Brasil.

Resumo

Neste trabalho apresentamos um conjunto de cinco atividades experimentais sobre ondas mecânicas, que incluem diversos experimentos virtuais e reais, concebidas à luz da epistemologia de Laudan. Cada atividade tem como mote uma questão central instigadora, contextualizada de modo que faça sentido aos alunos e lhes desperte interesse. Para resolver a questão, os alunos são orientados por guias impressos que buscam facilitar a mudança conceitual progressiva através da resolução de questões mais simples, cujas respostas lhes permitirão enriquecer seus modelos conceituais no sentido de aproximá-los dos modelos cientificamente aceitos e dar-lhes condições para responder a questão central.

Palavra-chave: *Guias experimentais, ondas mecânicas, mudança conceitual progressiva, questão relevante.*

1. Introdução

O projeto² que deu origem ao presente trabalho consiste no desenvolvimento de uma unidade de ensino sobre ondas mecânicas, baseada em atividades experimentais (virtuais e reais) propostas à luz da epistemologia de Laudan (OSTERMANN & PESA, 2002), e sua implementação em uma turma de ensino médio, ancorada na teoria da interação social de Vygostky (MOREIRA, 1999). Este projeto está em desenvolvimento, tendo sido feita uma experiência didática no primeiro semestre do corrente ano, cuja avaliação encontra-se em progresso. No presente artigo apresentamos o componente essencial da unidade de ensino, constituído pelo conjunto de guias impressos que orientam os alunos nas atividades em sala de aula e pelo embasamento teórico que lhe dá suporte.

Nosso trabalho se ancora em guias para as atividades experimentais que buscam instigar o aluno a se envolver cognitivamente com o objeto de aprendizagem, dando-lhe tempo para a reflexão e debate com os colegas, ou seja, vai contra atividades dirigidas por roteiros tipo *receita de bolo*, com uma seqüência rígida e linear de procedimentos a serem seguidos pretensamente com o objetivo final de descobrir e/ou verificar as leis e as teorias, o que conduz à falsa idéia de que as leis e as teorias podem ser provadas de forma definitiva através da observação e experimentação. A proposta de tais roteiros, cada vez mais combatida (SILVEIRA & OSTERMANN, 2002), está inspirada em uma concepção de ciência empirista-indutivista.

Buscamos um novo papel para a atividade experimental, que é servir como instrumento de mudança conceitual progressiva, na medida em que o aluno avança nas tarefas desenvolvidas no laboratório. Para tanto, propõe-se questões centrais sobre situações-problema que não são passíveis de solução meramente com as idéias pré-existentes dos alunos, e a solução de questões preparatórias mais simples servem como meio para enriquecer seus modelos conceituais. Para motivar e engajar os

¹ Apoio: CAPES.

² Este trabalho se vincula ao projeto de mestrado de L.B.M Morini junto ao Mestrado Profissional de Ensino de Física da UFRGS.

alunos no processo de aprendizagem, as questões centrais se referem a situações-problema instigantes, que façam sentido para os alunos e os motivem a tentar responder.

Para a elaboração e aplicação dos guias partimos do pressuposto que o conhecimento não é algo acabado e definitivo; sendo assim, não pode ser construído através de simples observação e/ou experimentação, sendo indispensável o suporte de concepções conceituais e formais teóricas. E como não somos partidários do ensino por descoberta, elementos teóricos são apresentados nos guias e pelo professor para que os alunos aprendam com o experimento e não meramente sobre o experimento.

2. Referencial teórico

No projeto em andamento adotamos como referencial teórico a epistemologia de Laudan (OSTERMANN & PESA, 2002) para a elaboração dos materiais instrucionais e a teoria sócio-interacionista de Vygotsky (MOREIRA, 1999), para a condução das atividades em sala de aula.

A elaboração do material foi inspirada nas associações que Villani (1992), e Duschl e Gitomer (1991) fazem entre a epistemologia de Laudan e o processo de aprendizagem. Para estes autores a mudança conceitual é progressiva e a aprendizagem efetiva e duradoura em ciências deve envolver um processo lento de mudanças, dirigindo-se não apenas para a assimilação de conceitos em um dado campo, mas também criando novos modelos, demandas epistemológicas e valores cognitivos. Sob este ponto de vista, para que as atividades experimentais propiciem melhores condições de aprendizagem, é preciso mudanças, sobretudo, na natureza das questões formuladas, nas entidades básicas envolvidas, nos métodos e na direção a ser seguida pelo ensino. Para que os alunos assimilem um novo modelo cientificamente aceito, é preciso motivá-los apresentando-lhes para serem respondidas com o novo modelo questões que sejam reconhecidas pelos alunos como problemas, e cuja solução lhes pareça interessante.

Motivados por estas idéias gerais, procuramos estabelecer uma correspondência entre a epistemologia do progresso científico de Larry Laudan e a aprendizagem, com a intenção de mudar não apenas o produto, mas também o processo e as implicações epistemológicas do trabalho experimental (OSTERMANN & PESA, 2002). Os experimentos são semelhantes aos usualmente efetivados com roteiros tradicionais. O diferencial de nossa abordagem se situa nas perguntas centrais formuladas, nas situações-problemas focadas e na conduta dos alunos na busca por resposta à questão central. Os guias têm como objetivo direcionar a atenção dos alunos para os fatos e os pressupostos teóricos relevantes, e promover o enriquecimento dos seus modelos conceituais no sentido de aproximá-los dos modelos cientificamente aceitos, evoluindo de conceitos mais básicos até conceitos mais complexos e modelos mais abstratos.

As atividades experimentais concebidas servem para incentivar atitudes próprias do “espírito científico” que permitam construir progressivamente explicações de complexidade gradual e crescente sobre os fenômenos ondulatórios (PESA; BRAVO & COLOMBO 2003).

A dinâmica proposta para as aulas com estes guias está ancorada na teoria sócio-interacionista de Vygotsky (Moreira, 1999). A escolha pela teoria de Vygotsky se deve especialmente porque ela se fundamenta na premissa de que a aprendizagem ocorre principalmente pela interação social dos alunos entre si e dos alunos com o professor e o contexto em que estão inseridos, levando a internalização de significados (op. cit.). Acredita-se que a busca de uma aprendizagem realmente significativa em Física pode ser auxiliada pela prática de laboratório, pois o trabalho cooperativo pode potencializar a compreensão e soluções de problemas que durante a aprendizagem individual não são possíveis. A interação entre os alunos e com o professor lhes permite que assumam papéis diferentes, intercambiando significados de um dado signo, confrontando seus conhecimentos prévios e a inadequação da aplicabilidade destes, desenvolvendo habilidades específicas, que só esse tipo de trabalho em grupo proporciona.

Na atividade experimental a interação entre os alunos é muito importante para promover a mudança conceitual. Para propiciar essa interação, recomenda-se que eles trabalhem em pequenos grupos (com até quatro membros), de modo a cooperarem, trocando significados e participando de

discussões que os levem a uma idéia coletiva que, a critério do grupo, melhor responda os problemas formulados sobre a situação-problema. A discussão do grupo com o professor e com os demais alunos tem grande potencial para promover a progressão conceitual. O papel do professor é o de mediação entre os alunos e desses com o conhecimento.

Vygotsky (apud MOREIRA & OSTERMANN, 1999, p. 21-32) afirma que o ensino eficiente é aquele que se adianta ao desenvolvimento do aluno atuando na região em que o desenvolvimento cognitivo ocorre, sendo esta à zona de desenvolvimento proximal. Acredita-se que através do uso de atividades experimentais pode-se alcançar mais facilmente este objetivo, pois o trabalho coletivo na consecução de uma tarefa promove a troca de informação e interação entre os envolvidos no processo.

3. Estrutura dos guias experimentais e dinâmica da aula

Os guias experimentais têm uma estrutura comum, que passamos a descrever, juntamente com a dinâmica proposta para as aulas.

Situação-problema e questão central: os guias começam com uma *questão central sobre uma situação-problema*, cujo significado um aluno é capaz de compreender sem qualquer introdução ao assunto, mas não é capaz de respondê-la somente com seus conhecimentos prévios. Não se espera que os alunos respondam a questão central nesta etapa da aula, mas passem a trabalhar em outras questões mais simples.

Perguntas preparatórias: para gradualmente enriquecer os modelos conceituais dos alunos, são apresentadas 4 ou 5 perguntas preparatórias mais simples do que a questão central, que devem ser respondidas, por escrito, individualmente com seus conhecimentos pré-existentes.

Respostas coletivas às perguntas preparatórias: os alunos trabalham, então, em pequenos grupos, confrontando suas respostas individuais para chegar a uma idéia mais apropriada e formular respostas coletivas, que, sob a orientação do professor, são discutidas no grande grupo. Nesta etapa dos trabalhos, os grupos podem chegar a respostas corretas às perguntas preparatórias, mas isto não é imprescindível, pois as atividades experimentais reais ou virtuais os ajudarão, ainda, a aprimorar seus modelos conceituais.

Atividade experimental (real e/ou virtual): execução de algumas atividades experimentais em pequenos grupos. À medida que os trabalhos prosseguem, os alunos devem responder várias perguntas.

Respostas à questão central: ao final, ocorre uma discussão com todos os integrantes da sala sobre os resultados obtidos, as respostas dadas às várias questões e os conceitos mais relevantes que foram discutidos, retomando-se a questão central, que é respondida de forma consensual pelo grande grupo.

Aprofundamento: algumas situações-problemas atraentes, mas que requerem maior elaboração conceitual, são propostas em alguns dos guias.

Em todos os momentos das discussões em grupo – pequeno ou grande – o professor procura não responder diretamente as questões, atuando como mediador e algumas vezes gerando novas discussões e relações com as atividades anteriores que não estão necessariamente indicadas ou induzidas pelos guias.

Passamos agora a apresentar o conteúdo de cada um dos cinco guias, cujas atividades estão planejadas para se estender ao longo de diversos encontros com os alunos. O primeiro guia é apresentado com maior detalhe, incluindo-se várias questões formuladas aos alunos, para dar uma

idéia mais clara do tipo de questão trabalhada. Os demais guias são apresentados sinteticamente. Quando a unidade didática sobre ondas estiver concluída, deverá fazer parte de um texto de apoio a ser publicada na série Textos de Apoio ao Professor de Física³.

4. Atividades experimentais propostas

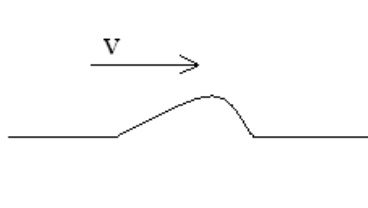
ONDAS MECÂNICAS TRANSVERSAIS

Tempo previsto para aplicação da atividade: 4h-aula.

Situação-problema e questão central: “Quando se dá apenas um toque em uma corda de violão afinada ela fica oscilando por bastante tempo. Se a corda rebenta e fica solta em um dos lados, quando damos um toque ela não oscila, e rapidamente fica em repouso. O que diferencia estas duas situações? O que ocorre com o pulso gerado em uma corda de violão que está presa pelas suas duas extremidades?”

Algumas das perguntas preparatórias

P.1) Imagine uma corda ou uma mola presa numa parede por uma de suas extremidades (veja a figura abaixo). Nesta corda ou mola é emitido um movimento brusco para cima na sua extremidade livre, gerando o que se chama de pulso de vibração perpendicular à direção de propagação, que é horizontal. O que você acredita que ocorrerá com o pulso quando chegar à extremidade que está presa na parede? E logo após ter chegado à parede o que acontecerá com este mesmo pulso? Se preferir responda a questão desenhando a corda em diferentes instantes de tempo.



P.2) Se a extremidade da corda que estava fixa for presa a um anel que pode se mover verticalmente (veja a figura a baixo), o que o correrá com o pulso quando chegar nesta extremidade? E logo após ter chegado nesta extremidade, como se comportará o pulso? Se preferir responda a questão desenhando a corda em diferentes instantes de tempo.

P.5) É possível quando há propagação de ondas em uma corda acontecer em um ou mais pontos de uma corda que eles fiquem sem oscilar? Se a resposta for afirmativa, de que forma? Pode responder através de desenhos.

Atividade experimental

Material: espirais de encadernação como molas, cordas, computador com conexão a internet, para o trabalho com animações de pulsos se propagando em corda fixa ou móvel na extremidade oposta ao oscilador, simulação de superposição de pulsos e de ondas estacionárias em cordas.

A atividade experimental consiste em i) emitir pulsos que se propagam em cordas de diferentes densidades e molas relaxadas ou alongadas e ii) oscilar constantemente (modificando a frequência

³ Editado por M. A. Moreira, e E. A. Veit. ISSN 1807-2763

de oscilação) a mola presa por uma de suas extremidades e analisar o comportamento das ondas geradas por esta oscilação.

Procedimentos experimentais e algumas questões formuladas

Prenda a corda e a mola em uma parede por uma de suas extremidades. Emita na extremidade livre um pulso de vibração transversal, ou seja, que a direção de vibração seja perpendicular à propagação do pulso na corda.

E.1) O que ocorre com o pulso quando chega à extremidade que está presa na parede? E logo após ter chegado à parede o que acontece com este mesmo pulso? Confere com suas previsões? Em caso negativo, em que se diferenciam suas previsões e observações? E em caso afirmativo, o que se confirma?

Agora a extremidade da corda e a da mola que inicialmente estavam presas, passam a estar móvel com um anel leve preso a elas nesta extremidade. Emita um pulso de vibração transversal na extremidade oposta ao anel.

E.2) O que você observa quando o pulso chega à extremidade presa ao anel? E logo após ter chegado à extremidade presa ao anel, o que acontece com este mesmo pulso? Confere com suas previsões? Em caso negativo, em que se diferenciam suas previsões e observações? E em caso afirmativo, o que se confirma?

Com a mola inicialmente mais relaxada e depois mais alongada, emita um pulso transversal em ambas as situações. Analise o comportamento do pulso quando se propaga na mola.

E.3) O estado inicial da mola (alongada ou relaxada) interfere na propagação do pulso? Se a resposta for afirmativa, em que interfere?

E.4) No que interfere a tensão do material para a propagação do pulso?

Com a mola alongada e presa por uma de suas extremidades, emita dois pulsos transversais com um intervalo de tempo entre cada pulso.

E.5) O que ocorre com os pulsos quando se encontrarem?

Observe as ilustrações apresentadas em aula, sobre um pulso se propagando em uma corda presa e outro se propagando em uma corda solta.

E.6) O comportamento é tal qual o observado no experimento com molas quando emitido um pulso nesta mola?

No endereço

http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/simulacoes/ondas/transversais/html/superposicao_pulsos1.html

é possível visualizar simulações referentes à superposição de pulsos de forma construtiva e destrutiva.

- clique na animação 1, inicie o processo e analise a superposição que ocorre.

- clique na animação 2, inicie o processo e analise a superposição que ocorre.

V.1) Na 1ª animação os pulsos estão em fase, na 2ª animação estão fora de fase. Em que influencia estar ou não em fase na interferência entre os pulsos quando se encontram?

V.4) O que ocorre com a amplitude do pulso quando se tem uma interferência construtiva e quando se tem uma interferência destrutiva?

Outras atividades experimentais trabalhadas⁴

Com a mola relaxada, os alunos devem agitá-la de tal maneira que se formem ondas estacionárias, sendo que a primeira onda contenha um antinodo de oscilação ao centro, a segunda um nó de oscilação no centro e a terceira dois pontos sem oscilação (dois nós) entre as extremidades. A formação de ondas estacionárias é analisada, assim como a importância da frequência para a formação deste tipo de onda. Três questões são apresentadas sobre estas experiências.

Com a simulação do endereço

http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/simulacoes/ondas/transversais/html/harmonico_1.html os alunos exploram a superposição de ondas, tendo a oportunidade de ver isoladamente duas ondas que se propagam em sentido contrários e o resultado de sua superposição, formando uma onda estacionária. Sete questões devem ser respondidas em relação ao visualizado nesta simulação.

Somente nesta etapa da aula os alunos discutem no grande grupo a questão central e devem chegar a uma resposta consensual.

PROPAGAÇÃO DE ONDAS MARÍTMICAS

Tempo previsto para aplicação da atividade: 2h-aula.

Situação-problema e questão central: “Um nadador no mar que ultrapassa a zona de rebentação é puxado para dentro do mar quando se encontra na calha da onda, e é empurrado para a costa quando se encontra na crista da onda. Por que a água do mar tem este comportamento quando a onda passa?”

Atividade experimental

Material: recipiente com água, uma folha, um conta-gotas, computador com conexão à internet para visualização da simulação de ondas se propagando na água.

A atividade experimental consiste em: i) analisar a simulação do comportamento de porções de água quando uma onda passa por elas, encontrada no endereço http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/simulacoes/ondas/transversais/onda_agua.htm; ii) gerar ondas em um recipiente contendo água analisando o movimento de uma folha quando as ondas passam por ela.

Procedimentos experimentais

Os alunos são conduzidos a:

- analisar na simulação de propagação de ondas na água qual é o tipo de movimento apresentado pelo ponto vermelho quando a onda passa por ele;

- observar no recipiente contendo água que tipo de movimento uma folha descreve quando a onda passa por ela e relacionar tal movimento como que é visto na simulação anterior;

- notar o comportamento do ponto vermelho, que representa uma porção de água, quando este está na calha (crista) da onda. Analisar a direção e o sentido do deslocamento destas porções de

⁴ Deixamos de incluir as perguntas formuladas, para não estender este artigo.

água e associá-las com o movimento do surfista que está tentando atingir a região além da rebentação.

Somente nesta etapa da aula os alunos discutem no grande grupo a questão central e devem chegar a uma resposta consensual.

Outras questões levantadas como aprofundamento

1. Em um submarino submerso suficientemente em alto mar não se percebe as ondas marítimas mesmo quando o mar na superfície está agitado. O que ocorre com as ondas em regiões de grandes profundidades?

2. Mesmo que em mar alto a direção das ondas seja bem diferente do que na costa, as ondas chegam à costa quase na direção perpendicular a ela. Por que isto acontece?

ONDAS ESTACIONÁRIAS EM TUBOS

Tempo previsto para aplicação da atividade: 4h-aula.

Situação-problema e questão central: “Muitos instrumentos musicais têm forma de um tubo, como a flauta e o saxofone, por exemplo. O que ocorre com o ar dentro do tubo quando produz as notas musicais?”.

Atividade experimental

Material: um tubo de ensaio de 15 cm, filme de PVC, pó de cortiça, apito de árbitro de futebol, flauta doce, computador com conexão à internet para visualização de simulações sobre ondas sonoras estacionárias em tubos com uma extremidade aberta e um programa computacional para análise de com (por ex., *Spectrogram* (HORNE, 2007)).

A atividade experimental consiste em: i) analisar no endereço http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/simulacoes/ondas/som/onda_sonora_fendt.htm o comportamento microscópico do ar quando uma onda sonora passa por ele em um tubo com uma extremidade fechada, ii) gerar ondas estacionárias dentro de um tubo de ensaio utilizando um apito como fonte sonora e iii) com uma flauta doce e um programa computacional de análise de com (p. ex., o *Spectrogram*) analisar a relação entre o comprimento do tubo sonoro e a frequência do som gerado pela flauta.

Procedimentos experimentais

Os alunos são conduzidos a:

- discutir o movimento microscópico do ar quando o som passa por ele, variando a frequência da onda estacionária na simulação que contém um tubo aberto em uma extremidade;
- montar o aparato experimental lacrando a extremidade aberta do tubo de ensaio com filme de PVC⁵ e fixando o tubo;
- soprar o apito na extremidade fechada com papel celofane e determinar a sua frequência com o *software Spectrogram*;

⁵ Como filme de PVC pode vibrar, tem-se nesta extremidade do tubo uma parede móvel, cujo efeito sobre a coluna de ar no seu interior é semelhante à situação em que não há parede, então, diz-se que esta extremidade do tubo está aberta. Já a outra extremidade do tubo está fechada por uma parede rígida, e costuma-se dizer, simplesmente, que o tubo está fechado.

- explorar as simulações sobre ondas sonoras e relacioná-las com as ondas estacionárias formadas dentro do tubo de ensaio, em particular, analisar nas animações a relação entre o comprimento do tubo e o comprimento de onda quando se estabelece uma onda estacionária, assim como a resultante variação de frequência;

- a partir da medida com uma régua da distância entre dois nós consecutivos formados no pó de cortiça, determinar o comprimento de onda e calcular a velocidade do som no ar (a frequência do apito já havia sido determinada anteriormente);

- observar, no *software Spectrogram*, o maior pico de frequência produzido quando se toca uma flauta doce com todos os orifícios fechados e compará-lo com os picos gerados, quando é reduzido o número de orifícios fechados, do pé da flauta para o bocal.

- analisar o que ocorre com a frequência à medida que os orifícios abertos estão mais próximos do bocal e relacionar com a animação onde se modificou o comprimento do tubo.

Somente nesta etapa da aula os alunos discutem no grande grupo a questão central e devem chegar a uma resposta consensual.

Outra questão levantada como aprofundamento

No endereço http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/simulacoes/ondas/som/onda_pressao.htm tem-se uma simulação que representa a variação de pressão quando há propagação da onda sonora em lucite. Qual é a relação entre as regiões claras e escuras com a pressão exercida neste meio? (Observe o gráfico abaixo da animação para responder). Qual é a direção em que se observa variação de pressão em relação ao gerador representado na animação?

NOTAS MUSICAIS E TIMBRES DE INSTRUMENTOS MUSICAIS

Tempo previsto para aplicação da atividade: 4h-aula.

Situação-problema e questão central: “Quando se escuta uma música consegue-se identificar os diferentes instrumentos utilizados na execução da música, mesmo quando a nota tocada pelos diferentes instrumentos é a mesma. O que faz com que o som de cada instrumento seja diferente?”.

Atividade experimental

Material: garrafas de diferentes tamanhos, violão, computador com o *software Spectrogram* instalado, diapásão e teclado.

A atividade experimental consiste em: i) gerar ondas sonoras dentro de garrafas de diferentes tamanhos e determinar as frequências fundamentais; ii) utilizar notas geradas por um violão para discutir as diferentes notas musicais, analisando as frequências fundamentais; iii) trocando a posição do toque em um corda do violão, analisar a intensidade dos harmônicos; iv) usar um diapásão de frequência igual a da nota Lá para comparar com a frequência fundamental da nota Lá do violão; v) com um teclado e o violão emitir as mesmas notas da mesma oitava e analisar os harmônicos estabelecidos.

Procedimentos experimentais

No que segue, sempre que o procedimento requerer análise de som, sugerimos que seja usado o *software Spectrogram*. Os alunos são orientados a:

- soprar nas garrafas de vidro de diferentes tamanhos, pronunciando a palavra tu de tal forma que a corrente de ar que sai da boca esteja aproximadamente paralela à boca das garrafas e determinar a frequência fundamental produzida em cada garrafa;

- discutir a relação entre a frequência fundamental de cada uma das cordas de um violão e os diferentes diâmetros;
 - discutir o comportamento da frequência quando, em uma mesma corda, for alterada a posição do dedo que a pressiona, encurtando o segmento vibrante;
 - obter algumas frequências produzidas quando a posição do dedo pressiona uma mesma corda nos intervalos entre os trastes e analisar os valores obtidos para a razão entre as frequências de dois consecutivos intervalos entre trastes ($\sim 1,06$);
 - observar os picos de frequência dos harmônicos produzidos por distintas notas musicais;
 - observar a escala musical entre duas oitavas consecutivas, observando seus tons e semitons;
 - modificar a posição do dedo mantendo a mesma corda pressionada no mesmo intervalo entre trastes. Aproximar o toque da ponte onde a corda está presa. Comparar o som emitido pelos toques, e os picos de intensidade das frequências dos harmônicos obtidos;
 - analisar a mesma nota musical gerada por um violão e um diapásão. Observar os picos de intensidade de frequência de uma mesma nota musical tocada no violão e no diapásão. Comparar o espectro sonoro emitido pelos dois instrumentos;
 - discutir a qualidade do som (timbre) que nos permite reconhecer sons provenientes de instrumentos diferentes quando tocam a mesma nota;
- Somente nesta etapa da aula os alunos discutem no grande grupo a questão central e devem chegar a uma resposta consensual.

Aprofundamento

Consiste na análise do timbre de diferentes instrumentos musicais com um programa de análise de som. Sugerimos, para isto, que os alunos tragam instrumentos que saibam tocar, além de violão, ou peça para algum amigo que saiba tocar um instrumento, que os acompanhem na aula trazendo este instrumento.

EFEITO DO DOPPLER E BATIMENTOS SONOROS

Tempo previsto para aplicação da atividade: 4h-aula.

Situação-problema e questão central: “O som que você escuta quando uma ambulância com a sirene ligada se aproxima é diferente do que quando ela se afasta. O que ocorre com as características do som quando a ambulância se aproxima e quando se afasta para que o som nos pareça diferente?”

Material: computador conectado à internet e *os software Spectrogram* e *Batimento* instalados, microfone, caixas de som.

Atividade experimental

Os alunos são orientados a: i) analisar uma simulação de um músico executando uma nota, localizado em um trem em movimento (<http://www.seed.slb.com/pt/scictr/lab/doppler/train.htm>); ii) analisar e comparar as frentes de onda originadas em uma fonte que se aproxima e se afasta de um observador (http://www.walter-fendt.de/ph14br/dopplereff_br.htm); iii) com o programa *Batimento* selecionar duas frequências próximas e analisar o som que se escuta e com o programa *Spectrogram* analisar o gráfico do batimento; iv) modificar as frequências aumentando a diferença entre elas e calcular a frequência dos batimentos; v) selecionar apenas uma frequência em execução, aproximar e afastar da parede a caixa de som do computador e utilizar o *software Spectrogram* para analisar o som resultante.

Procedimentos experimentais

Os alunos deverão:

- explorar a simulação de um músico em um trem em movimento executando uma nota, enquanto outra pessoa está no lado de fora escutando e tentando determinar que nota que está sendo tocada (<http://www.seed.slb.com/pt/scictr/lab/doppler/train.htm>). Comparar o som que se escuta quando o trem se aproxima e se afasta de um observador no referencial em repouso, localizado fora do trem;

- observar as frentes de onda originadas por uma fonte que se aproxima e se afasta de um observador, na simulação disponível em http://www.walter-fendt.de/ph14br/dopplereff_br.htm;

- desenhar as frentes de onda quando a fonte sonora se aproxima (se afasta) do observador, e analisar o que ocorre, em cada caso, com a distância entre as frentes de onda em comparação com a fonte em repouso;

- voltar à simulação do músico no trem e relacionar o som que diferentes observadores escutam, estando ou não em movimento em relação à fonte;

- utilizar a simulação do endereço

<http://phy03.phy.ntnu.edu.tw/oldjava/portuguese/ondas/efeitoDoppler/Doppler.html>, onde é possível ajustar a velocidade da onda, o comprimento da onda e a velocidade da fonte. Selecionar a velocidade da onda sonora, determinar uma velocidade para a fonte sendo esta menor que a do som e iniciar o processo. Analisar as frentes de onda sonora que se propagam na frente e atrás da fonte em movimento e, com os dados fornecidos na simulação calcular a frequência do som percebida pelo observador em repouso quando a fonte se aproxima e quando a fonte se afasta.

- selecionar duas frequências próximas no programa Batimento e iniciar o processo e com as duas frequências em execução. Analisar, com o *software Spectrogram*, espectro sonoro, observando os batimentos;

- no endereço <http://www.if.ufrgs.br/fis183/applets/stationary.html> observar as animações e analisar diferenças entre batimentos sonoros e ondas estacionárias;

- com programa Batimento modificar as frequências aumentando a diferença entre elas. Discutir por que as ondas sonoras devem ter pequenas diferenças entre as frequências para se perceber os batimentos;

- aproximar e afastar da parede a caixa de som do computador, na qual foi gerada uma única frequência com o programa Batimento, e observar o efeito Doppler com o *software Spectrogram*.

Somente nesta etapa da aula os alunos discutem no grande grupo a questão central e devem chegar a uma resposta consensual.

Outras questões levantadas como aprofundamento

No endereço <http://phy03.phy.ntnu.edu.tw/oldjava/portuguese/ondas/efeitoDoppler/Doppler.html> é possível observar além do efeito Doppler também as ondas de choque, como as geradas por um avião supersônico. Para observar este efeito basta elevar a velocidade da fonte de tal forma que esta se torne maior do que a velocidade do som.

1- A que se deve a formação de ondas de choque?

2- Logo após a passagem de um avião supersônico é possível ouvir um estrondo sônico. O que faz com que este estrondo aconteça?

5. Comentários finais

Cada vez é mais freqüente a existência de escolas sem laboratórios didáticos de Física ou com laboratórios em péssimas condições, com poucos equipamentos e pouco utilizados pelos professores. É verdade que faltam verbas e pessoal técnico para a manutenção dos laboratórios, assim como também é verdade que ministrar uma aula experimental nestas condições exige muito mais esforço do professor, já exausto com a grande quantidade de aulas que costuma ministrar. Porém, quer nos parecer que um dos motivos para a inexistência de atividades experimentais no ensino médio advém do fato que os professores, em sua maior parte, tiveram poucas oportunidades de vivenciar experiências positivamente marcantes no laboratório didático de Física em sua formação, quer no ensino médio, quer na graduação universitária. Muitos jamais tiveram aulas experimentais e outros tantos que as tiveram, muito provavelmente, trabalharam no sentido de “provar leis” da Física, por demais conhecidas. Obviamente que tal trabalho não é estimulante para a maior parte dos alunos e pouco contribui para uma aprendizagem significativa.

Os tempos mudaram e é consenso nos dias atuais que as atividades de laboratório não devem levar o aluno à crença empirista-indutivista de que as teorias são meramente decorrentes da observação/experimentação. Também é consenso que esforços são necessários para tornar o ensino de Física mais estimulante e a aprendizagem mais significativa. Porém, propor atividades experimentais que cumpram o papel de incentivar atitudes próprias do “espírito científico” e de propiciar mudança conceitual progressiva é uma tarefa que requer tempo e esforço. No sentido de contribuir com os professores do ensino médio interessados em inovar em suas aulas, mas sem o tempo necessário para criar novos materiais, por meio deste trabalho compartilhamos com os professores uma unidade didática para o estudo de ondas mecânicas compatível com a tendência atual sobre o papel do laboratório didático.

Conforme exposto ao longo do trabalho, procuramos instigar os alunos partindo de questões bem contextualizadas e que despertem o seu interesse. Uma de nossas premissas é que é preciso dar tempo para que os alunos progressivamente construam modelos conceituais que se aproximem dos aceitos cientificamente, dando-lhes condições de gradualmente, com muita interação com os colegas e o professor, chegarem à resposta à questão principal que lhes foi proposta. Por isto, as cinco atividades propostas estão planejadas para se estenderem por vários encontros com os alunos, nos quais eles trabalham com questões intermediárias mais simples, que lhes permitirão uma progressão conceitual no tópico em estudo.

Está em andamento uma avaliação da experiência didática realizada com este material na Escola de Ensino Médio Antônio Kanabben, Gravatal, SC, ao longo do primeiro semestre de 2006. Podemos adiantar, entretanto, que tanto o professor responsável por todas as aulas (primeiro autor deste trabalho), quanto os seus orientadores (demais autores do trabalho), testemunharam *in loco* o grande entusiasmo e empenho dos alunos no desenvolvimento das atividades, demonstrando grande interesse não somente na questão central instigadora, mas também nas questões intermediárias, bem como comportando-se muito à vontade com a metodologia de trabalho. Neste sentido, já podemos considerar esta uma experiência bem sucedida, o que nos motivou a compartilhar o material desenvolvido com a comunidade interessada.

6. Referencias Bibliográficas

DE CUDMANI, C. L. Ideas Epistemológicas de Laudan y su posible influencia en la enseñanza de las ciencias. *Argentina: UNT*,1997.

DUSCHL, R.A; GITOMER, D.H.; Epistemological Perspective on Conceptual Change: Implications for Educational Practice. *Journal of Research in Science Teaching*, volume único p. 839-858; 1991.

HORNE, R. Spectrogram. Disponível em: <<http://www.monumental.com.rshorne/gram.html>>. Acesso em: 17 ago. 2007.

MOREIRA, M. A. *Teorias de Aprendizagem*. São Paulo: EPU, p. 112-116, 1999.

MOREIRA, M. A.; OSTERMANN, F. *Teorias Construtivistas*. Porto Alegre: Instituto de Física – UFRGS, 1999, 62 p.

OSTERMANN, F.; PESA, M. A. La ciencia como actividad de resolucion de problemas: La epistemologia de Larry Laudan y algunos apartes para las investigaciones educativas em ciencias. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 19, n. especial: p. 84-99, abr. 2002.

PESA, M.A; BRAVO, S. del V. & COLOMBO, E.M.; Investigando la luz e la vision; ed. Asoc. Coop. Fac. Cs. Exatas y Tecnologia-U.N.T, 2003, p. 3-13.

SILVA; W. P. S; SILVA, C. M. D. P. S. *Batimento*. Disponível em: <<http://www.angelfire.com/ab5/extensao/batimento.html>>. Acesso em: 17 ago. 2007.

SILVEIRA, F. L. da, OSTERMANN F.; A insustentabilidade da proposta indutivista de “descobrir a lei a partir de resultados experimentais”. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 19, edição especial: p.7-27, jun. 2002.

VILLANI, A.; Conceptual Change in Science and Science Education. *Science Education*, p. 223-237. 1992.

VILLANI, A.; et. al. Filosofia da ciência, História da ciência e psicanálise: Analogias para o ensino de ciências. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v 14, n.1, p.35-55, abr.1997.