

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE FÍSICA

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física

Mestrado Profissional em Ensino de Física

**Atividades experimentais de Física à luz da epistemologia de
Laudan: ondas mecânicas no ensino médio**

Lizandra Botton Marion Morini

Porto Alegre

2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE FÍSICA

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física

Mestrado Profissional em Ensino de Física

**Atividades experimentais de Física à luz da epistemologia de
Laudan: ondas mecânicas no ensino médio**

Lizandra Botton Marion Morini

Dissertação realizada sob a orientação da Profa. Dra. Eliane Angela Veit e co-orientação do Prof. Dr. Fernando Lang da Silveira, apresentada ao Instituto de Física da UFRGS em preenchimento parcial dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Porto Alegre

2009

Resumo

Nesse trabalho apresenta-se um conjunto de cinco atividades sobre ondas mecânicas, integrando experiências reais e virtuais. Associações entre a epistemologia de Laudan e o processo de aprendizagem inspiraram a concepção do material instrucional. Cada atividade começa com uma questão central interessante para os alunos, contextualizada de modo que eles consigam entendê-la, embora não sejam capazes de respondê-la apenas com seus conhecimentos prévios. Os estudantes são orientados por guias impressos que contêm questões mais simples, que os ajudam a melhorar seus modelos conceituais na direção dos modelos científicos, dando-lhes melhores condições para resolver a questão central. A ideia é promover uma mudança conceitual progressiva. As atividades foram planejadas para se opor ao empirismo-indutivismo, que conduz à falsa ideia de que as leis e as teorias científicas são provadas de forma definitiva através da observação e experimentação, resultando em conhecimento imutável e definitivo. O referencial teórico é a teoria sócio-interacionista de Vygostky, especialmente no que diz respeito à interação em sala de aula, onde a maior parte das atividades é realizada em pequenos grupos e depois discutida no grande grupo, incluindo o professor. O material instrucional desenvolvido foi aplicado a uma turma do terceiro ano de uma escola pública brasileira de ensino médio (Escola de Ensino Médio Antônio Knabben, SC) no primeiro semestre de 2007. Essa experiência didática é relatada em detalhes nesse trabalho, sendo mostrado que houve uma melhoria estatisticamente significativa no desempenho dos alunos do grupo experimental em comparação com o desempenho do grupo de controle, cujas aulas foram as tradicionais. O produto educacional desse trabalho consiste em um conjunto de guias para os estudantes, que incluem respostas para os professores, e testes conceituais sobre ondas mecânicas.

Abstract

A set of five activities about mechanical waves, integrating real and virtual experiments are presented. The instructional material design was based on associations between Laudan's epistemology and the learning process. Each activity has as starting point an interesting central question for the students, contextualized in such a manner that they are able to understand it, although they are not able to answer it only with their previous knowledge. The students are oriented by printed guidelines that contain simple questions which help them to improve their conceptual models toward the scientific models, giving them better conditions to answer the central question. The idea is to foster a progressive conceptual change. The activities were designed to contrast with empiricism, that leads to the wrong idea that the scientific laws and theories are proved in a definitive manner through observation and experimentation, resulting in immutable and definitive knowledge. The theoretical basis is the socio-interacionist theory of Vygotsky, specially regarding the social interaction in class, where most of the activities are developed in small groups and afterwards discussed in the large group, including the teacher. The instructional material developed was applied to a group of students of a Brazilian public high school (Escola de Ensino Médio Antônio Knabben, SC) in the first semester of 2007. This didactical experiment is reported in detail in the present work and it is shown that there was a statistically significant improvement in the performance of the experimental group students when compared to the control group, submitted just to a conventional teaching method. The educational output of this work consists of a suite of guidelines for students, containing answers to teachers, and a conceptual test about mechanics waves.

Sumário

Resumo	v
Abstract	vii
Capítulo I. Introdução	11
Capítulo II. O papel do laboratório didático no ensino de Física	15
II.1. Concepção de Hodson	15
II.2 Concepção de Gil-Perez	18
II.3 Concepção de Seré	24
II.4 Concepção de Borges	26
II.5 Conexão entre o presente trabalho e os anteriores	30
Capítulo III. Referencial teórico	33
III.1- Aprendizagem à luz da epistemologia de Laudan	33
III.2 Teoria da aprendizagem de Vygostky	38
Capítulo IV. Atividades propostas, dinâmica das aulas e instrumentos de avaliação	41
IV.1 Estrutura dos guias experimentais e dinâmica das aulas	41
IV.2 Atividades experimentais propostas	42
IV.3 Instrumentos de avaliação	51
Capítulo V. Resultados e análise dos dados	53
V.1 Contextualização	53
V.2 Relatório das cinco atividades desenvolvidas	54
V.2.1 Relatório da primeira atividade	54
V.2.2 Relatório da segunda atividade	56
V.2.3 Relatório da terceira atividade	57
V.2.4 Relatório da quarta atividade	59
V.2.5 Relatório da quinta atividade	60
V.3. Resultados do pré e pós-testes	62
V.4. Avaliação de questões dos guias de atividades	64
Capítulo VI. Comentários finais e conclusões	69
Referências	71
Apêndice A. Guias de atividades para os alunos	73
Apêndice B. Teste conceitual proposto e aplicado como pré e pós-teste.	117

Apêndice C. Respostas dos alunos das duas turmas A e B às quatro primeiras 121
questões do pré-teste e pós-teste

I. Introdução

Cada vez é mais frequente a existência de escolas sem laboratórios didáticos de Física ou com laboratórios em péssimas condições, com poucos equipamentos e pouco utilizados pelos professores. 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.

Devido à concepção de que a aprendizagem pode ocorrer através de simples observação e experimentação, nas raras ocasiões em que há realização de atividades experimentais, os professores costumam utilizar roteiros tipo *receita de bolo*, isto é, uma sequência rígida e linear de procedimentos pretensamente com o objetivo final de descobrir e/ou verificar as leis e as teorias. Estes roteiros conduzem à falsa ideia de que as leis e as teorias podem ser derivadas e/ou definitivamente provadas com auxílio da observação e experimentação. A proposta de tais roteiros, cada vez mais combatida (por exemplo, Silveira & Ostermann (2002), Hodson (1994), Borges (2002), Gil-Perez et al. (1999), Villani (1992) e Kohnlein & Peduzzi (2002)), está inspirada em uma concepção de ciência empirista-indutivista, apesar de ser consenso entre os epistemólogos que a construção do conhecimento em ciências não ocorre de acordo com os ditames empiristas-indutivistas e que o conhecimento científico não é imutável e definitivo. É preciso, então, trabalhar no sentido de alterar este quadro e, particularmente em relação às aulas experimentais, abandonar a concepção de que elas servem para descobrir ou verificar as leis e as teorias.

Com o intuito de contribuir para modificar esta concepção, na elaboração do material instrucional partimos do pressuposto que o conhecimento não é algo acabado e definitivo, de modo que não pode ser construído exclusivamente através de simples observação e ou experimentação. Também buscamos um novo papel para as atividades experimentais, nas quais as questões abordadas não são passíveis de solução meramente com as ideias pré-existentes do aluno, servindo como instrumento de mudança conceitual progressiva. Pretendemos que a atividade experimental incentive atitudes próprias do “espírito científico” (PESA, BRAVO, COLOMBO, 2003) e que propiciem mudança conceitual. Para que o aluno assimile um novo modelo cientificamente aceito, procuramos sensibilizá-lo com situações-

problemas que ele próprio identifique como interessantes de serem resolvidas. Para tanto, é imprescindível que os alunos sejam capazes de entender as situações-problema com seus conhecimentos prévios, sem, contudo, terem possibilidade de solucioná-las na ausência da aquisição de novos conhecimentos.

A elaboração do material foi inspirada nas associações que Villani (1992), Duschl e Gitomer (1991) fazem entre a epistemologia de Laudan e o processo de aprendizagem. Eles dizem que a mudança conceitual é progressiva e que 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.

O material foi concebido para ser trabalhado em sala de aula ancorado na teoria de Vygostky. Esta teoria sócio-interacionista se fundamenta na premissa que a construção do conhecimento ocorre devido à interação social dos alunos entre si e desses com o professor. A atividade experimental potencializa esta interação de signos. Nesse processo o professor tem o papel de mediador do conhecimento.

Nesse sentido, os guias propostos para as atividades experimentais (reais e/ou virtuais) 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, evitando atividades dirigidas por roteiros tipo *receita de bolo*. Os guias foram elaborados à luz da epistemologia de Larry Laudan. As atividades realizadas sobre ondas mecânicas foram divididas em cinco guias, abordando de forma ampla e com certa profundidade conceitos que estão envolvidos nos conteúdos de ondas transversais (pulsos e ondas em cordas e molas), ondas longitudinais (ondas sonoras em tubos), notas musicais, timbre, efeito Doppler e batimentos. Em vários momentos das aulas experimentais, foram inseridas atividades utilizando tecnologias de informação e comunicação, especificamente, experimentos virtuais e experimentos reais com aquisição de dados através da placa de som do computador, e analisados em tempo real com aplicativos que permitem investigar o comportamento das ondas sonoras.

Os resultados obtidos com a aplicação do projeto, em termos de aprendizagem de Física por parte dos alunos, foram analisados através da aplicação de pré-teste e pós-teste tanto na turma em que o projeto foi implantado quanto em uma turma de controle onde também foram realizadas atividades práticas reais e/ou virtuais com roteiros tradicionais,

sobre os mesmos conteúdos. Adicionalmente analisamos algumas das questões respondidas pelos alunos nos guias impressos e as nossas anotações no caderno de campo.

A população-alvo para a implementação do material desenvolvido foi constituída de 17 alunos da terceira série do ensino médio do turno noturno da Escola de Ensino Médio Antônio Knabben, SC, sendo a experiência didática realizada no primeiro semestre de 2007.

No capítulo II discutimos alguns trabalhos que utilizam atividades experimentais para a construção do conhecimento de Física, no capítulo III apresentamos a fundamentação teórica do trabalho, no que diz respeito aos fundamentos epistemológicos e à dinâmica de sala de aula e no capítulo IV, o material desenvolvido e a metodologia de aplicação desse material na experiência didática realizada. Os resultados dessa aplicação são apresentados no capítulo V, e os comentários finais e conclusões, no capítulo VI. Informações úteis ao professor que deseja realizar essas atividades em sua sala de aula constituem os apêndices: os guias para o professor com o gabarito (Apêndice A), um teste conceitual (Apêndice B) e as transcrições das respostas dos alunos que serviram de base para a nossa avaliação qualitativa (Apêndice C).

II. O papel do laboratório didático no ensino de Física

Críticas às atividades práticas no ensino de Física, aos rígidos roteiros utilizados e sugestões de novas direções para os laboratórios nas escolas têm sido alvo de preocupação na literatura tanto nacional quanto internacional. Dentre os diversos trabalhos de reflexão sobre este tema, cujas ideias essenciais apresentamos nas seções II.1 à II.4 destacamos os artigos de Hodson (1994), Gil-Perez et al. (1999), Seré et al. (2004) e Borges (2002), porque tiveram maior influência no nosso trabalho. Também discutimos a coerência entre o nosso trabalho e algumas das ideias defendidas por esses autores, na seção II.5.

II.1. Concepção de Hodson

Segundo Hodson (1994) a maior parte das razões apresentadas pelos professores para justificar a participação dos estudantes em atividades experimentais pode ser agrupada em cinco categorias, que são:

- estimular o interesse e a diversão;
- ensinar técnicas de laboratório;
- intensificar a aprendizagem dos conhecimentos científicos;
- proporcionar uma ideia sobre o “método científico” e desenvolver habilidades em sua utilização;
- desenvolver determinadas “atitudes científicas” tais como a consideração de ideias e sugestões de outras pessoas, a objetividade e uma boa disposição para não emitir opinião apressada.

Porém, ele propõe que se questione se de fato estes argumentos justificariam a atividade experimental, apresentando perguntas do seguinte estilo:

“O trabalho experimental motiva os alunos? Existem outras formas de motivá-los? Os estudantes adquirem as técnicas de laboratório a partir do trabalho técnico que realizam na escola?...O trabalho de laboratório ajuda os alunos a compreender melhor os conceitos científicos?...Qual a imagem que adquirem os alunos sobre a ciência e a atividade científica ao trabalhar com o laboratório?...Até que ponto o trabalho prático que efetuam os alunos pode favorecer as denominadas atitudes científicas” (op. cit., p. 301).

Em relação à motivação, o autor menciona que, com frequência, o que atrai os alunos no trabalho experimental é a metodologia de aprendizagem mais ativa, que possibilita maior interação entre os colegas e com o professor e não o laboratório *per se*. O que os estudantes

de todas as idades parecem valorizar, na sua opinião, é um desafio cognitivo que esteja a seu alcance: “fazer um ‘experimento adequado’ (que tenha um objetivo claro e ‘funcione’) e ter controle e independência suficiente” (ibid., p. 301).

Quanto à aquisição de habilidades, ele afirma que tradicionalmente os argumentos a favor do trabalho como meio de aprendizagem têm sido de dois tipos. Em primeiro lugar (ibid., p. 301):

“ficam aqueles relacionados com a aquisição de habilidades generalizadas e livres de conteúdo que se crê que são transferíveis a outras áreas de estudo e válidos para todos os alunos como meio de enfrentar vários problemas do cotidiano”;

em segundo lugar são apresentados argumentos no sentido de (ibid., p. 301):

“desenvolver as destrezas e as técnicas de investigação básicas como essenciais para futuros cientistas e técnicos... Como se a educação de todos os alunos estivesse subordinada às necessidades percebidas pelos poucos que chegam a estudar ciências em um nível avançado ou a trabalhar em um laboratório.”

Hodson questiona se determinadas habilidades desenvolvidas no laboratório didático, por exemplo, o uso de uma pipeta, podem, de fato, ser transferidas para outras situações de laboratório, por exemplo, uma que requeira o uso de um osciloscópio ou para uma situação da vida cotidiana, sem qualquer relação com o laboratório didático. Adicionalmente, ele argumenta que mesmo depois de vários anos com aulas de laboratório, muitos alunos são incapazes de chegar ao fim das tarefas do laboratório de forma precisa, segura, entendendo o que estão fazendo e sendo capazes de atingir os objetivos traçados pelo professor no início da atividade prática. Comumente, os alunos acabam a prática experimental tendo apenas uma ligeira ideia do que está acontecendo.

Quanto à intensificação da aprendizagem do conhecimento científico, e alguma ideia sobre método científico e “atitudes científicas” ele menciona que existe a crença de que ao aprender o “método científico” o aluno estará aprendendo o conhecimento científico, sendo que

“parece que estão fazendo pouco mais do que ‘seguir umas receitas’. E no melhor dos casos, estas atividades são uma grande perda de tempo. E o mais provável é que causem confusão e resultem contraproducentes” (ibid., p. 302).

Investigações sobre o conhecimento mostram que a ideia que os alunos têm sobre a natureza da investigação científica é incoerente e distorcida. Este problema é atribuído (ibid.,

p. 302) em grande parte “à herança que ficou dos métodos de aprendizagem enfocados na **descoberta** que foram introduzidos com tanto entusiasmo e tantas esperanças na década de 1960”.

O ensino por descoberta tem sido o instrumento de grande parte dos professores de ciências na busca da motivação dos alunos nas atividades práticas. Porém, o ensino por descoberta se baseia em uma ideia antiquada e distorcida da natureza da investigação científica, vista como uma sequência rígida de etapas, em que primeiro se observa, depois se experimenta e então, se investiga, ou seja, embasada na concepção empirista-indutivista.

Para Hodson são quatro as razões que explicam o uso do método por descoberta (ibid., p. 302):

- simplicidade aparente;
- o prestígio pedagógico do método por se centrado no aluno;
- as concepções inadequadas dos professores sobre a natureza da ciência que derivam de suas próprias experiências de aprendizagem;
- a comodidade que produz a crença em um método que induz a um algoritmo preciso, capaz de dirigir as investigações.

Em contraposição, apontando condições que uma atividade prática deve satisfazer, ele considera que é importante que os alunos

“compreendam a natureza do problema e o procedimento experimental (nenhum dos quais lhes são consultados), que adotem uma perspectiva teórica relacionada com o tema de estudo (com ajuda mínima do professor), que leiam, assimilem e sigam as instruções do experimento, que manejem o aparelho em questão, recopilem os dados obtidos, que reconheçam a diferença entre os dados obtidos e os resultados que ‘deveriam ter sido obtidos’, que interpretem tais resultados e escrevam um informe do experimento”(ibid., p. 304).

Para que todos estes passos sejam atingidos com sucesso pela maior parte dos alunos é necessário, segundo o autor, eliminar interferências, pois os alunos sofrem uma sobrecarga de informação. Deve haver a busca pela simplificação de alguns passos menos importantes e utilização de aparelhos e técnicas mais simples. Especificamente, é preciso evitar que os alunos se encarreguem da montagem de complexos aparatos e eliminar as interferências matemáticas utilizando calculadoras ou programas que convertam dados brutos em dados finais.

Hodson também defende que no ensino de ciências é necessário ser levado em conta três aspectos importantes, quais sejam, a aprendizagem de ciências; a aprendizagem sobre a natureza das ciências e a prática das ciências. Na sua visão, estes três aspectos são necessários. Um bom resultado em um dos campos contribui para a compreensão dos outros, mas isoladamente nenhum deles é suficiente.

É importante a aprendizagem sobre a natureza das ciências e a prática das ciências pois

“Para compor um currículo de ciências filosoficamente válido e pedagogicamente razoável, é necessário utilizar uma gama de métodos de aprendizagem e ensino muito mais ampla do que se tem pensado usualmente nas disciplinas de ciências do nível secundário e adaptar as experiências mais cuidadosamente e de forma mais específicas aos objetivos das lições concretas...”(ibid., p. 306)

Na aprendizagem de ciências é necessário levar em contas as ideias prévias dos alunos sobre o assunto a ser desenvolvido através de suas experiências. O professor é quem, de acordo com o autor, deve identificar as ideias e pontos de vista dos alunos sobre o assunto a ser tratado, apresentar experiências aos alunos para explorar tais ideias, oferecer estímulos para que os alunos desenvolvam-nas e possivelmente modifiquem-nas e apoiá-los na reelaboração de suas próprias ideias.

Em relação à aprendizagem sobre a natureza de ciências para que o estudante tenha êxito ele entende que é necessário converter o implícito em explícito, planejar a atividade conforme um modelo científico que seja válido filosoficamente.

Quanto à prática de ciências, Hodson considera que “os cientistas procedem em parte mediante a racionalização (baseada em sua compreensão teórica) e em parte usando a intuição enraizada em seu conhecimento técnico de como fazer ciências” (ibid., p. 306).

II.2. Concepção de Gil-Perez

No artigo *Tem sentido seguir distinguindo entre aprendizagem de conceitos, resolução de problemas de lápis e papel e realização de prática de laboratório?* Gil-Perez et al. (1999) questionam a distinção clássica entre aulas de teoria, práticas de laboratório e solução de problemas. Para eles esta separação não se justifica, pois na atividade científica estes itens aparecem absolutamente integrados e sua dissociação no ensino pode se tornar um obstáculo para uma renovação no ensino de ciências.

Gil-Perez et al. (op. cit.) defendem a necessidade de um replanejamento global do ensino de ciências, levando em conta as pesquisas existentes sobre distintos aspectos do processo de ensino-aprendizado. Um grande problema da pesquisa em ensino de ciências está na limitação da transferência destas investigações à prática docente. Na década de oitenta, por exemplo, a pesquisa se centrou nas concepções alternativas, sendo outros aspectos pouco investigados e outros até ignorados. Entretanto, o levantamento das concepções alternativas aparentemente não teve efeito na prática de laboratório, problemas de lápis e papel ou na evolução do aprendizado. Para Gil-Perez et al. isto se deve ao fato que as técnicas usadas dentro de sala de aula continuam sendo as tradicionais. Como consequência, há decepção e frustração por parte do professor que não obtém bons resultados em suas tentativas de melhorar o ensino, passando a pensar que as novas ideias são apenas promessas, quando o problema central é que propostas pontuais e desconexas não são capazes de surtir efeito.

Outro problema se refere à pouca relação existente entre os estudos realizados com distintos objetivos. Por exemplo, os estudos sobre concepções alternativas, práticas de laboratório, resolução de problemas com lápis e papel, e avaliação não se constituem em um corpo coerente de conhecimentos, fazendo com que a didática das ciências seja classificada como pré teoria. Para Gil-Perez et al. :

“a transformação efetiva do ensino habitual de ciências precisa um replanejamento global de todo o processo de ensino-aprendizagem das ciências que integre coerentemente distintos aspectos até aqui estudados separadamente.” (p. 312)

Para a evolução desta situação pré-teórica para um corpo coerente de conhecimento, Gil-Perez et al. sugerem que os seguintes pontos sejam levados em consideração:

- é preciso a participação efetiva do estudante na (re)construção do conhecimento através de *pesquisa dirigida*, dando-lhe oportunidade para a reflexão. Esta ideia resulta do consenso crescente em torno da proposta construtivista na qual a busca por uma aprendizagem significativa requer a participação dos estudantes na construção do conhecimento que habitualmente são transmitidos já elaborados. Isso não quer dizer que se pretende que o aluno se torne um investigador autônomo trabalhando na fronteira do conhecimento, como suposto no “método da descoberta”, proposto como reação ao papel passivo do aluno. A ideia é que os estudantes abordem situações problemáticas de interesse,

estruturados em equipes colaborativas e interagindo com as outras equipes e com o restante da *comunidade científica*, representada pelo professor e os textos didáticos;

- é preciso modificar a concepção epistemológica dos professores em relação ao trabalho científico, para que mude também a prática de laboratório. A *pesquisa dirigida* contribuiria neste sentido, pois exige a superação dos reducionismos e visões distorcidas da natureza da ciência que tomam conta das ideias epistemológicas espontâneas dos professores.

A renovação no ensino de ciências, conforme alerta Gil-Perez et al., passa pelo questionamento de numerosas concepções (ideias, comportamentos e atitudes) do professorado em torno da natureza das ciências e de seu ensino-aprendizagem. Durante muitos anos as críticas às concepções epistemológicas dos professores limitaram-se a denunciar as concepções indutivistas e as visões rígidas, algorítmicas do chamado ‘método científico’. Posteriormente os estudos passaram a ser mais abrangentes, abarcando outras visões distorcidas transmitidas no ensino de ciências, como a visão aproblemática, exclusivamente analítica, individualista, socialmente neutra e outras.

Outro obstáculo ao ensino de ciência salientado por Gil-Perez refere-se ao *ensino-aprendizado* de ciências e, particularmente, à ideia ingênua e difundida de que o ensino é algo trivial, que se pode abordar “com algo de experiência e sentido comum” (op. cit., p. 313). A superação de tal visão exige que se faça uma análise crítica, através de investigação, das “evidências” que sempre foram consideradas “verdades”, e que resultados de pesquisa em ensino de ciências sejam levadas à sala de aula. Especificamente no trabalho em discussão, os autores têm como objetivo questionar a divisão clássica, entre teoria, práticas de laboratório e resolução de problemas.

A ideia dos autores é que para atingir eficácia no processo ensino-aprendizagem é preciso fazer um replanejamento global do ensino de ciências, desde a introdução e manejo de conceitos, passando pelas práticas de laboratório e resolução de problemas, pela integração entre teoria, prática e problemas, exigindo transformações nestes três tipos de aula.

Sugestões para a transformação das práticas de laboratório

Conforme os autores lembram, tradicionalmente as práticas de laboratório têm sido vistas como uma possibilidade de superação de um ensino puramente livresco e de superação de dificuldades de aprendizagem. Esta foi a tônica dos projetos curriculares dos anos 60 e 70,

especialmente nos países anglo-saxões e constitui, ainda presentemente, uma ideia generalizada entre os professores. Porém, há dificuldades associadas a fatores externos como a falta de instalações e materiais adequados, turmas numerosas e currículos enciclopédicos, especialmente nos países subdesenvolvidos; e há, ainda, dificuldades associadas a opção por atividades experimentais conduzidas com roteiros rígidos do tipo “receita”, transmitindo uma visão distorcida da atividade científica, tanto no “descobrimento autônomo” introduzido com os projetos curriculares, quanto no laboratório como mera ilustração dos conhecimentos teóricos.

Paradoxalmente, os mesmos professores que introduzem as atividades experimentais com “receitas”, quando convidados a refletir sobre a natureza do trabalho científico:

“vêm a necessidade de concebê-las [as atividades experimentais] organicamente, vinculadas ao tratamento de um problema relevante, à construção de hipóteses que focalizem a investigação, à invenção de desenhos experimentais, etc., incorporando aspectos chave da atividade científica habitualmente ignorados” (GIL et al., 1991, apud GIL-PEREZ et al., 1999, p. 314)

Aparentemente existe uma atitude positiva dos professores no sentido familiarizar os alunos com o trabalho científico, o que poderia motivá-lo a abandonar os trabalhos com “receitas”, no entanto, para Gil-Perez isto esconde uma

“...visão reducionista da atividade científica, que associa prioritariamente investigação ao trabalho experimental, é que tem atuado como obstáculo na renovação de outros aspectos do processo de ensino-aprendizado das ciências.”(ibid., p314)

Sugestões sobre a transformação dos problemas de lápis e papel

Gil-Perez critica a prática de resolução de problemas em sala de aula, pois para ele não se ensina a resolver problemas, no sentido de enfrentar situações desconhecidas, frente às quais o aluno se sinta inicialmente perdido. O que se faz é apresentar soluções para situações que são completamente conhecidas pelos professores, não suscitando qualquer tipo de dúvida, nem exigindo tentativas. Ou seja, a ideia subjacente às aulas de problemas usuais, é “transformar um problema em um não-problema” (idib., 314). O aluno aprende a solução e a partir daí ele a repete em situações praticamente idênticas. Qualquer mudança transforma o problema em uma dificuldade insuperável, levando a manipulações de dados e fórmulas e, com frequência, o aluno abandona o problema.

A crítica mais contundente dos autores se refere ao fato de que os problemas são enunciados de modo muito fechado, sendo fornecidos aos alunos todos os dados necessários, e nenhum dado adicional. Para resolver o problema usualmente, sem maior reflexão, o aluno se limita a tentar encontrar fórmulas nas quais possa trabalhar com estes dados e a(s) incógnita(s), reduzindo o problema a seu aspecto operacional e desconsiderando completamente os significados conceituais. Esta orientação equivocada leva a uma concepção indutivista.

A questão que Gil-Perez et al. colocam é:

“O que nos enunciados habituais pode dificultar um tratamento científico dos problemas, até o ponto de não fazer pensar nem sequer na conveniência de construir alguma hipótese orientadora?” (ibid., p. 315).

Um problema que aparece na tentativa de mudança deste quadro é a dificuldade dos professores em construir enunciados mais abertos capazes de gerar uma resolução com características do trabalho científico. Gil-Perez et al. argumentam que qualquer enunciado habitual pode ser transformado em um situação problema mais aberta sem dados, sendo possível gerar hipóteses para solução deste, sem maiores dificuldades para o aluno. E para a solução destes problemas abertos, as aulas precisariam ser transformadas em *resolução de problemas como pesquisa*, sendo os principais aspectos considerados os seguintes:

- discutir qual pode ser o interesse da situação problemática abordada;
- realizar um estudo qualitativo da situação;
- emitir hipóteses sobre quais fatores podem influenciar a solução;
- elaborar e explicar possíveis estratégias de resolução;
- realizar a resolução verbalizando ao máximo;
- analisar cuidadosamente os resultados;
- considerar as perspectivas abertas pela pesquisa realizada;
- elaborar uma memória que explique o processo de resolução e quais os destaques dos aspectos de maior interesse no tratamento da situação considerada.

Em resumo, os autores consideram:

“... práticas de laboratório e de resolução de lápis e papel como variantes de uma mesma atividade: o tratamento de situações problemáticas abertas, com uma orientação próxima ao que constituem o trabalho científico. De fato, posto a prova uma hipótese, em uma investigação real, pode e deve fazer tanto experimentalmente

como mostrando a coerência de suas implicações com o corpo de conhecimentos aceito pela comunidade científica.” (ibid., p316)

A transformação da aprendizagem conceitual

Gil-Perez et al. relembram que muitas vezes têm sido aceito que uma estratégia para trabalhar com os aspectos conceituais é identificar os conhecimentos prévios dos alunos, provocar um choque cognitivo e modificar as ideias dos alunos. Mas eles argumentam que este procedimento se constitui num artifício que afasta o aluno do objetivo central da construção do conhecimento. Afinal, a produção de conhecimento resulta da proposição de problemas de interesse para os pesquisadores (no caso, os alunos). Na solução destes problemas, as ideias prévias são importantes, assim como os novos conhecimentos desenvolvidos na tentativa de solução do problema, também é verdade que pode haver mudanças conceituais e inclusive, questionamentos sobre as ideias prévias, mas o objetivo central é a resolução dos problemas. O conflito cognitivo é de ordem bastante distinta, pois não decorre de uma interferência externa, não se trata da confrontação entre ideias próprias e conhecimento científico, mas da consciência por parte do aluno de que suas próprias ideias são insuficientes, e que ao serem usadas como hipóteses, podem vir a ser substituídas por outras.

Os autores sugerem que deve haver uma transformação no sentido de se trabalhar com *situações problemáticas abertas*, que gerem interesse dos alunos, pois são mais coerentes com a construção do conhecimento científicos. Neste contexto, a aprendizagem de ciências é entendida não como uma mera mudança conceitual, mas como uma mudança conceitual, metodológica e de atitude. Para atingi-las eles sugerem, em linhas gerais, o que segue (ibid., p. 318):

- plantar as situações-problemas que gerem interesse nos alunos, levando em conta sua visão de mundo, destrezas e atitudes;
- propor aos estudantes um estudo qualitativo das situações-problemas sugeridas, no qual deverão tomar decisões e conceber um plano para abordá-las;
- orientar o tratamento científico dos problemas plantados (sugestão de hipóteses, elaboração de estratégias, realização das estratégias e análises dos resultados considerando as predições das hipóteses);

- aplicar o manejo reiterado dos novos conhecimentos em uma variedade de situações, favorecer as atividades de sínteses.

É possível identificar em todos os momentos desses passos sugeridos a existência de um problema, a utilização de uma teoria e experimentos envolvidos. Assim como na investigação científica, no ensino de ciências os problemas, teorias e práticas devem vir juntos para a efetiva construção do conhecimento.

Como conclusão, os autores consideram que há convergência nas transformações necessárias nos três tipos de atividades usuais (aulas teóricas, de laboratório e solução de problemas). Estas atividades precisariam ser integradas de modo a possibilitarem uma *pesquisa dirigida*, envolvendo todos os aspectos do problema.

II. 3 Concepção de Seré

No artigo *O papel da experimentação no ensino da física* escrito por Seré et al. (2004) é enfatizado que há várias formas possíveis para a aplicação de atividades experimentais no ensino, pois mesmo os cientistas têm múltiplas maneiras de realizar um experimento. Segundo eles (op. cit. p. 32):

“Teorias modernas da psicologia e da ergonomia, poucos conhecidas, mostram que os físicos aplicam com frequência regras intuitivas, derivadas de seus conhecimentos procedimentais, de hábitos adquiridos ou simplesmente de bom senso, ao invés de princípios físicos elaborados.”

Sendo assim, o professor pode optar por diferentes formas na elaboração e aplicação das atividades experimentais. Algumas delas são citadas e criticadas no artigo. Passamos a apresentá-las.

A primeira citada é a mais tradicional, de verificar leis e teorias informando-se ao aluno o que ele deve verificar através do experimento, ou seja, fornecendo um objetivo ao aluno. Os alunos são orientados passo a passo na análise dos dados e o objetivo do professor “É focar a teoria buscando estabelecer uma primeira relação entre ela e o mundo dos objetos.” (ibid., p. 35). Em geral não existe uma atividade de reflexão por parte dos alunos, pois não lhes é dada margem para discussão. Eles aprendem como manusear o material, como se utilizar de um método, observar fenômenos e manipular leis. O risco desta espécie de organização de atividades, segundo a crítica os autores, é que o aluno permaneça em nível

puramente conceitual, sem perceber a importância desses conhecimentos para a atividade experimental.

Há um segundo formato de abordagem onde a lei não é questionada, mas admitida como conhecida e utilizada para calcular parâmetros. Nesta espécie de atividade o aluno serve-se da teoria. Um exemplo é um enfoque dado com o uso da informática que:

“... consiste em traduzir sob diferentes formas um conjunto de dados relativos a um fenômeno: coletar dados e selecioná-los eventualmente; encontrar modelos diferentes e testá-los no computador.” (ibid., p. 32).

Outro enfoque que permite ao aluno uma atividade intelectual diferente das citadas até aqui é a de comparação de modelos.

“Não se trata de propor aos alunos a comparação de ‘modelos teóricos’ ... mas de ‘modelos de comportamento’. Este é um tipo de modelo frequente em Física e ao qual, em Física Básica, precisamos nos limitar muitas vezes” (ibid., p. 35).

Nestas atividades não há um objetivo definido no roteiro, mas este existe, estando apenas na mente do professor. Os alunos podem perceber a possibilidade de que utilizando o mesmo conjunto de dados, pode-se chegar a modelos de comportamento diferentes.

Há também as atividades que procuram comparar métodos experimentais, nas quais

“a teoria é utilizada apenas como suporte para uma avaliação da exatidão dos resultados experimentais. Não existe uma preocupação com a teoria pois se supõe que essa seja conhecida. ... Contudo, um certo número de trabalhos mostra que se apoiar na teoria em favor da prática e da experimentação é também um excelente meio de aprendê-la” (ibid., p. 37).

Nesta abordagem, o professor tem a intenção de familiarizar o aluno com a medição, e servir-se da teoria para encontrar a melhor forma.

Outra abordagem é a de conceber um experimento, onde o aluno cria e executa o próprio experimento. Seré et al. comentam que o professor se surpreende muitas vezes com as dificuldades que os alunos apresentam para conceber experimentos simples. Neste caso o aluno tem escolha de como manipular e observar o experimento:

“tem-se a impressão de que nesse tipo de manipulação perde-se muito tempo, mas, na realidade, o nível de aprofundamento dos conhecimentos adquiridos é maior. Mesmo o experimento sendo bastante simples, surgem questionamentos quanto à ordem de grandeza, dada pela teoria, e quando ao número a ser mantido.” (ibid., p. 38)

Através dos trabalhos práticos e das atividades experimentais, o aluno deve se dar conta de que para compreender um fenômeno é necessária uma teoria: igualmente a teoria se faz necessária na obtenção de medidas e na fabricação dos instrumentos de medida. “A teoria está ‘a serviço’ da prática quando se permite ao aluno comparar modelos com uma finalidade prática”(ibid., p. 40).

As atividades experimentais são em gerais enriquecedoras, pois é graças a elas que

“...o aluno é incitado a não permanecer no mundo dos conceitos e no mundo das ‘linguagens’, tendo a oportunidade de relacionar esses dois mundos com o mundo empírico” (ibid., p. 39).

Os autores acrescentam que através das atividades experimentais os alunos podem aprender técnicas de investigação, mas que para tanto as atividades devem possibilitar um olhar crítico sobre os resultados obtidos e os alunos precisam tomar decisões frente aos problemas apresentados nas atividades.

II. 4 Concepção de Borges

Discutindo novos rumos para o laboratório escolar de Ciências, Borges (2002) afirma que as metas que os educadores têm em relação ao aprendizado do aluno nas atividades práticas são:

- adquirir conhecimento científico;
- aprender os processos e métodos das ciências;
- compreender as aplicações da ciência, especialmente as relações entre ciência e sociedade.

Neste sentido, os professores acreditam que os alunos

“deveriam conhecer alguns dos principais produtos da ciência, ter experiência com eles, compreender os métodos utilizados pelos cientistas para a produção de novos conhecimentos e como a ciência é uma das forças transformadoras do mundo”(ibid., p. 294).

Na opinião deste autor, na busca de atividades que atingissem estes objetivos, chegou-se às aulas de laboratório tradicionais, baseadas em uma linha de raciocínio que tem como principal objetivo que o aluno realize observações e medidas acerca de fenômenos já previstos pelo professor. Em geral eles devem trabalhar em pequenos grupos e seguir roteiros. A atividade:

“pode ser a de testar uma lei científica, ilustrar ideias e conceitos aprendidos nas ‘aulas teóricas’, descobrir ou formular uma lei acerca de um fenômeno específico, ‘ver na prática’ o que acontece na teoria, ou aprender a utilizar algum instrumento ou técnica de laboratório específica” (ibid., p. 296).

Há uma busca por ensinar o “método científico”, transmitindo a ideia de que o fazer ciências ocorre pela aplicação de um método experimental indutivista. Este, que seria o único “método científico”, pode ser encarado como uma sequência rígida de passos como um algoritmo e, sendo assim, observa Borges (ibid., p. 296): “...qualquer observador não tendencioso registrará as mesmas observações sobre aquela parte da realidade para o qual ele volta sua atenção”. É nesta concepção sobre a natureza da ciência que se originam os roteiros rígidos.

Conforme ele alerta, a busca por verificar e/ou comprovar leis e teorias científicas é enganosa, pois os fenômenos a serem estudados e analisados já estão previamente determinados pelo professor. Então, os estudantes tendem a buscar respostas ‘certas’ e não buscam investigar os motivos do ‘erro’ pois percebem que o que determina a nota é chegar ou não no objetivo final do professor. “As causas do erro não são investigadas e uma situação potencialmente valiosa de aprendizagem se perde, muitas vezes, por falta de tempo” (ibid., p. 299). O laboratório se torna pouco eficiente em levar a uma mudança conceitual efetiva dos alunos, em proporcionar uma apreciação sobre a natureza da ciência e em desenvolver habilidades experimentais estratégicas.

Borges argumenta que atividades como resolução de problemas, modelagem e representação, com simulações em computador, por exemplo, podem cumprir melhor o papel de motivadores do que as atividades práticas tradicionais que se prendem por demais à coleta de dados e:

“não são efetivamente relacionadas aos conceitos físicos; que muitas delas não são relevantes do ponto de vista dos estudantes, já que tanto o problema como o procedimento para resolvê-lo estão previamente determinados; que as operações de montagem dos equipamentos, as atividades de coleta de dados e os cálculos para obter respostas esperadas consomem muito ou todo o tempo disponível” (ibid., p. 296).

A crítica apresentada por Hodson (1988, apud Borges (2002)) em relação à visão epistemológica errônea de ciência subjacente às aulas práticas é retomada por Borges. Esta visão empirista-indutivista que Chalmes

“denomina como indutivismo ingênuo, assume que o conhecimento científico é verdade provada ou descoberta que tem origem no acúmulo de observações cuidadosas de algum fenômeno por uma mente livre de pré-concepções e sentimentos que aplica o método científico para chegar a generalizações cientificamente válidas”. *ibid.*, p. 296)

Segundo esta concepção, todos os envolvidos nas atividades percebem da mesma forma clara e sem equívocos o objetivo da atividade prática levando, então, à descoberta de novos fatos e leis, conforme os roteiros indicam. Esta ideia dá muita importância para a observação, ignorando as ideias prévias dos estudantes. Apresenta também um “método científico” como um algoritmo rígido capaz de produzir conhecimento científico comprovado, partindo de observações neutras, formulação de hipóteses, comprovação experimental e generalização das conclusões.

“Esta imagem da ciência, que ainda permeia muitos dos livros didáticos de ciências naturais, especialmente aqueles utilizados na Educação Básica, está completamente superada nos círculos acadêmicos há várias décadas” (*ibid.*, p. 297).

Estas críticas não são apresentadas com o objetivo de que as atividades experimentais sejam abandonadas, mas sim buscam incentivar novas formas de introduzir atividades práticas, de modo a que tenham um papel mais relevante para a aprendizagem. Neste sentido, as atividades devem possibilitar novas análises além daquelas esperadas, pois

“O importante não é a manipulação de objetos e artefatos concretos, e sim o envolvimento comprometido com a busca de respostas/soluções bem articuladas para as questões colocadas, em atividades que podem ser puramente de pensamento” (*ibid.*, p. 295).

Adicionalmente, o ensino experimental deve ser introduzido juntamente com o ensino teórico, integrando o conhecimento prático e teórico, e não de modo desfragmentado, como é muito usual.

Duas questões cruciais (*ibid.*, p. 298) são apresentadas: o laboratório pode ter um papel mais relevante para a aprendizagem escolar? Se pode, de que maneira ele deve ser organizado?

Em relação à primeira pergunta a resposta é afirmativa. Na sua opinião, o laboratório pode e deve ter um papel mais relevante para a aprendizagem de ciências. Para tanto, é necessário “encontrar novas maneiras de usar as atividades prático-experimentais mais criativa e eficientemente e com propósitos bem definidos” (*ibid.*, p. 298). A atividade prática deve ser encarada como um facilitador na aprendizagem e compreensão de conceitos e para

isso deve se concentrar apenas nos aspectos desejados, com um planejamento cuidadoso levando em consideração as ideias prévias dos alunos referentes ao problema a ser investigado, disponibilizando tempo suficiente para realizar a atividade, especialmente levando em conta que tudo que é observado por pessoas distintas depende dos seus conhecimentos prévios. Entretanto, é importante ter consciência de que mesmo que o aluno realize adequadamente a atividade planejada não há garantias de aprendizagem. Sendo assim, há necessidade de atividades pré e pós-experimento, para que o estudante exponha suas ideias e concepções, e discuta suas observações e conclusões.

Ele acrescenta que deve ser almejado ensinar habilidades práticas do laboratório apesar de que “há uma forte crítica acerca da possibilidade de transferência destas habilidades entre contextos distintos, da necessidade e mesmo da possibilidade de ensiná-la”. (ibid., p. 20) Não existe algo relevante que venha de forma independente das situações-problemas estudadas.

Borges diz que

“o trabalho de laboratório pode ser organizado de diversas maneiras, desde demonstrações até atividades prático-experimentais dirigidas diretamente pelo professor ou indiretamente, através de um roteiro. Todos podem ser úteis, dependendo dos objetivos que o professor pretende com a realização das atividades propostas” (ibid., p. 304).

Uma das maneiras alternativas que ele tem defendido constitui-se de atividades estruturadas como investigações ou problemas práticos mais abertos, que os alunos resolvem sem roteiros rígidos ou por instruções do professor. Estas investigações ou problemas não devem ter soluções imediatas ou até mesmo podem não ter solução possível, sendo necessário para resolvê-lo fazer idealizações e aproximações. A premissa subjacente é que “para resolver um problema, um estudante deve fazer mais que simplesmente lembrar-se de uma fórmula ou de uma situação similar que conseguiu resolver” (ibid., p. 304).

A diferença que Borges aponta entre atividades investigativas e o laboratório tradicional é o grau de abertura, o objetivo da atividade e a atitude do aluno em relação a ela. Em uma investigação aberta cabe ao aluno toda a solução, sendo que

“durante as etapas de resolução do problema, há ciclos de realimentação para as etapas anteriores, vindas da percepção da necessidade de mudanças no planejamento, na formulação do problema ou nas técnicas experimentais utilizadas” (ibid., p. 306).

As investigações devem inicialmente ser simples, embora se pretenda que evoluam ao longo do curso. O professor atua como mediador entre os alunos e a atividade prática,

intervindo nos momentos de decisão e falta de clareza, e monitorando o progresso dos alunos em relação aos conceitos trabalhados e ao controle das atividades.

É necessário, ainda, que o professor distinga para o aluno as atividades práticas realizadas com fins pedagógicos e as investigações experimentais realizadas por cientistas.

Para finalizar, Borges considera que

“Para que as atividades práticas sejam efetivas em facilitar a aprendizagem, devem ser cuidadosamente planejadas, levando-se em conta os objetivos pretendidos, os recursos disponíveis e as ideias prévias dos estudantes sobre o assunto.” (ibid., p. 311)

II. 5 Conexão entre o presente trabalho e os anteriores

Nas seções II.1 a II.4 apresentamos um série de diferentes enfoques e concepções sobre as atividades de laboratório resultantes de reflexões de conceituados pesquisadores da área de pesquisa em Ensino de Física. Nesta seção sintetizamos os aspectos negativos, que procuramos evitar em nossa proposta de trabalho, e os positivos, que procuramos levar em consideração.

Alguns aspectos que são criticados pelos autores dos artigos mencionados nas seções anteriores que procuramos evitar são:

- a visão epistemológica empirista-indutivista;
- o método da descoberta, pois este induz uma visão distorcida do que é investigação científica;
- roteiros estruturados tipo *receita de bolo* que leva à ideia da existência de um “método científico”;
- uma visão incoerente e distorcida sobre a natureza da investigação científica, usualmente apresentada pelos alunos.

Os autores defendem e procuramos contemplar em nosso trabalho:

- a existência de atividade experimental, desde que esta tenha um novo papel na busca do aprendizado;
- provocar no aluno a reflexão crítica sobre os resultados obtidos e a tomada de decisões frente aos problemas apresentados;

- propiciar situações-problema motivadoras, compreensíveis por parte dos alunos, mas que não possam ser resolvidas meramente com os seus conhecimentos prévios, tendo que buscar novos conhecimentos;

- instigar o aluno a se envolver cognitivamente com o objeto de aprendizagem, dando-lhe tempo para a reflexão e debate com os colegas, e conferindo ao professor o papel de mediador do conhecimento.

- levar em conta os conceitos prévios dos alunos sobre o assunto a ser tratado, apresentando experiências que permitam explorar tais ideias, oferecendo estímulos para que os alunos desenvolvam-nas e possivelmente modifiquem-nas e os apoiando na reelaboração de suas próprias ideias;

- integrar as aulas práticas de laboratório, aulas teóricas e resolução de problemas, pois na atividade científica estes itens aparecem absolutamente integrados. Em nosso trabalho estas aulas ainda são integradas com a experimentação virtual;

- dar a oportunidade para que o aluno aprenda sobre a natureza da ciência e para que isso ocorra, convertendo o implícito em explícito, planejando a atividade conforme um modelo científico que seja válido filosoficamente.

Essas foram as nossas intenções neste trabalho e como veremos na apresentação dos resultados, podemos dizer que fomos bem sucedidos. Passamos, agora, a apresentar o referencial teórico.

III. Referencial Teórico

Neste trabalho adotamos como referencial teórico para a elaboração do material instrucional uma correspondência entre a epistemologia do progresso científico de Laudan e a aprendizagem (PESA & OSTERMANN, 2002; VILLANI, 1992 e COLOMBO DE CUDMANI, 1997) e para a condução das atividades em sala de aula a teoria sócio-interacionista de Vygotsky (MOREIRA,1999). Neste capítulo apresentamos sucintamente as principais ideias destas teorias que fundamentaram a elaboração do trabalho.

III.1 Aprendizagem à luz da epistemologia de Laudan

Para relacionar a epistemologia de Laudan com o ensino, iniciamos com uma síntese sobre a visão contemporânea de ciência e as aulas experimentais de Física, passamos a uma síntese sobre o progresso científico e as mudanças conceituais na epistemologia de Laudan e finalmente apresentamos um paralelo entre o progresso científico e a aprendizagem.

Visão contemporânea de ciência e as aulas experimentais de Física

Em relação à questão epistemológica, o primeiro aspecto que merece nossa atenção é o fato de que é comum para os professores de Física o uso de roteiros rígidos na observação e coleta de dados durante a realização de atividades experimentais, independentemente de estas atividades serem reais ou virtuais.

“Como a concepção empirista-indutivista é que prevalece na prática didática dos professores em geral, é natural que, em suas classes, utilizem o laboratório como um recurso para desenvolver nos alunos atitudes e habilidades relativas a observar, medir, comparar, anotar e tirar conclusões; enfatizando apenas o produto das descobertas científicas...” (KOHLEIN & PEDUZZI, 2002, p. 7).

Este é o quadro que desejamos alterar, mudando não apenas o produto, mas também o processo e as implicações epistemológicas do trabalho nas aulas experimentais. Para isto as premissas que expomos abaixo foram consideradas ao longo do nosso trabalho.

Um dos pontos que os epistemólogos modernos (pós-positivistas) convergem em relação à construção do conhecimento é que “todo o nosso conhecimento é impregnado de teoria, inclusive nossas observações” (POPPER, 1975, p. 75 apud SILVEIRA, 1996, p. 202). “Não existem dados puros, fatos neutros, livres de teoria.” (ibid. p. 202) Assim, não é possível somente através de observações e resultados experimentais se chegar a leis gerais, pois não há um procedimento lógico capaz de por si só conduzir dos fatos e dos fenômenos aos princípios,

leis e teorias. Ao explorar um fenômeno no laboratório, o pesquisador já tem algumas ideias pré-concebidas, já decidiu qual será o foco de suas atenções e interpretará os resultados à luz destas ideias.

Porém conforme destacam Silveira e Ostermann (2002), a concepção empirista-indutivista assume o conhecimento científico como verdade absoluta, pois é provado ou descoberto, tendo origem no acúmulo de observações cuidadosas, aplicando-se as regras do “método científico” para se chegar a generalizações e teorias. Esta concepção desconsidera as ideias prévias e a imaginação dos estudantes, iniciando com observações neutras, livres de teorias, passando a seguir para a formulação de hipóteses e, depois, comprovando-as experimentalmente, para, finalmente, atingir as generalizações indutivas e as conclusões certas e indubitáveis. O empirismo-indutivista promove um entendimento equivocado da relação entre teoria e a observação e/ou a experimentação. Ainda para Silveira e Ostermann (op. cit.) não é possível apenas a partir de resultados experimentais e procedimentos lógicos ou matemáticos se chegar às leis e às teorias. Pressupostos teóricos sempre orientam a busca e a análise dos resultados experimentais e dependendo desses pressupostos, pode-se interpretar de diferentes maneiras os mesmos dados empíricos.

Estas ideias, consensuais entre os epistemólogos contemporâneos, não perpassam nos laboratórios didático, como salienta Seré et al. (2004, p. 39-40):

“através de trabalhos práticos e das atividades experimentais, o aluno deve se dar conta de que para desvendar um fenômeno é necessária uma teoria. Além disto, para obter uma medida e também para fabricar os instrumentos de medida é preciso uma boa teoria...a teoria está a 'serviço' do experimento, da prática, quando se permite ao aluno comparar modelos utilizando as leis e os modelos com uma finalidade prática. Ele pode discernir o interesse específico da prática.”.

O progresso científico e as mudanças conceituais na epistemologia de Laudan

Três são os pontos, que permitem analogias entre o progresso científico à luz da epistemologia de Laudan e a aprendizagem de ciências, considerados relevantes neste trabalho:

- a identificação de um problema relevante;
- a motivação para a busca de uma solução de um problema relevante;
- as anomalias e complexidade do processo de mudança de tradição de pesquisa e da mudança conceitual.

O ponto essencial da epistemologia de Laudan que levamos em conta na elaboração do material instrucional diz respeito à sua concepção de que o progresso científico ocorre devido ao enfrentamento e resolução de **problemas relevantes**. Por isto, para avaliar os méritos de uma teoria ele propõe “que se pergunte se ela constitui solução adequada a problemas relevantes e não se ela é corroborada ou bem confirmada” (MASSONI, 2005, p. 33). Para Laudan (apud MASSONI, p. 31), “Se uma teoria nova pode fazer tudo o que sua predecessora faz e algo mais, então a teoria nova é evidentemente superior”. Resumindo, uma teoria é considerada boa, quando resolve um grande número de problemas e a evolução das teorias – troca de uma teoria por outra considerada melhor – ocorre quando a nova teoria é capaz de resolver um maior número de problemas importantes.

Um dos quesitos para a solução de um problema relevante é a **motivação**. Segundo Laudan (apud PESA & OSTERMANN, 2002) os cientistas têm múltiplas e variadas motivações para resolver problemas; por exemplo, a utilidade social associada à solução do problema e, em algumas ocasiões, o prestígio e poder resultante para o cientista.

Para Laudan segundo Villani et al. (1997) a anomalia em ciências não é qualquer discrepância entre teoria e experimentos. É sim o fracasso de uma teoria vigente em resolver problemas relevantes naquele momento histórico enquanto a teoria rival que surge passa a resolvê-los.

Quando uma anomalia para uma determinada teoria emerge na resolução de um problema científico prioritário naquele momento histórico, surge então uma dificuldade, conceitual ou empírica em resolvê-lo, que a outra teoria alternativa concorrente não manifesta para na sua solução (PESA & OSTERMANN, 2002).

O progresso científico implica em transformar problemas não resolvidos ou anômalos em problemas resolvidos de forma lenta e gradual, e de acordo com Colombo de Cudmani (1997), nenhum campo científico é privilegiado no sentido de marcar o começo da mudança conceitual. O progresso pode acontecer em qualquer dos diferentes campos:

- uma mudança nas concepções pode dar-se quando a nova teoria satisfaz melhor a metodologia adotada;
- uma mudança metodológica deve ser aquela que permite uma realização mais completa das finalidades e objetivos;
- uma mudança nas metas e propósitos pode dever-se a que os objetivos propostos inicialmente são irrealizáveis ou violam teorias aceitas pela comunidade científica.

Estas mudanças raramente ocorrem simultaneamente, permitindo uma decisão racional dos cientistas sobre qual das teorias em concorrência é a melhor. Como salienta Colombo de Cudmani (1997, p. 327):

“Laudan considera que o processo de mudança de paradigma não é cumulativo, mas a evolução das teorias realizada em um contexto comparativo permite ao cientista decidir entre teorias melhores que outras. Melhor em que sentido? No sentido que são mais eficazes para resolver problemas”.

A racionalidade da concorrência entre as teorias e da superação de uma teoria por outra é uma característica essencial das ideias de Laudan sobre o progresso científico. A citação abaixo expressa mais uma vez o racionalismo de epistemologia de Laudan:

"Inicialmente muda-se um dos aspectos, com base na negociação e os outros permanecem intactos. Em seguida estes são questionados, tornando-se objeto de negociação crítica com base em novos aspectos consensuais. Deste modo, realiza-se uma mudança radical, obtida a partir de uma negociação racional.” (VILLANI, BARROLI, CABRAL, FAGUNDES & YAMAZAKI, 1997, p. 40)

Um paralelo com a aprendizagem

- a) Sobre a relevância do problema: segundo Villani et al. (1997) na busca da progressão conceitual do aluno é necessário que se apresente problemas a serem resolvidos que sejam importantes e relevantes para os alunos, para que desta forma o aluno sintam-se motivado de ir em busca de soluções para este.
- b) Sobre a motivação: segundo Villani et al. (1997), um dos motivos que conduzem o aluno a resolver problemas em sala de aula é passar de ano, obter o diploma. Nossa busca é no sentido do aluno ter outros objetivos para a resolução destes problemas, como, por exemplo, a curiosidade, a satisfação pessoal e a superação de algum conflito cognitivo que tenha surgido durante uma atividade experimental.

Em termos da aprendizagem, procuramos trabalhar com experimentos e metodologia que estimulem o aluno a um aprendizado significativo, utilizando para este fim atividades motivadoras, que partam de situações atraentes e instigadoras, sob o ponto de vista do aluno.

c) Sobre a necessidade de novas teorias e a evolução conceitual, para que os alunos sintam a necessidade de responder o problema proposto, ele deve ser instigante. Adicionalmente deve haver uma insatisfação com a concepção existente para que o processo de mudança conceitual ocorra, ou seja, se as ideias ou modelos próprios dos alunos não forem

suficientes para responder às questões propostas, torna-se necessário a busca de novas teorias que as respondam melhor.

“Na aprendizagem o que gera a insatisfação em relação ao senso comum, se manifesta quando tais concepções não conseguem dar conta do objetivo do estudante, mas as do conhecimento científico conseguem. Em geral, isto acontece quando o sujeito se expõe.” (VILLANI, BARROLI, CABRAL, FAGUNDES & YAMAZAKI, 1997, p. 40).

O processo de mudança conceitual não é simples e instantâneo como também não o é o progresso científico, implicando na convivência das concepções em concorrência. Segundo Villani et al. (1997, p. 40) a mudança é

“um resultado a longo prazo e de longo alcance (mudança das tradições de pesquisa). Não somente teorias e conceitos básicos, mas também elementos básicos, métodos de trabalho, ideais explicativos, questões fundamentais e valores são modificados progressivamente. Também o processo de aprendizagem se desenvolve progressivamente, sem o abandono das concepções anteriores.”

Somente a tomada de consciência pelos alunos das anomalias nas suas concepções não é condição suficiente para a promoção de uma mudança conceitual. É necessário dar tempo para reflexão, análise e discussão, promovendo assim insatisfação com as concepções existentes, a chegada a nova ideias sem o abandono das ideias antigas.

“Na aprendizagem o processo de mudança apresenta uma fase inicial exploratória, em que se perseguem novos modelos e se chegam a novas ideias e teorias, sem que isso conduza a um abandono de ideias anteriores. A aprendizagem efetiva e duradoura em ciências envolve um processo lento de mudanças que deve dirigir-se não apenas para assimilação de conceitos em um dado campo, quanto para novos modos de raciocínio, demandas epistemológicas e valores cognitivos”. (AGUIAR JR, 2001, p. 4).

A aprendizagem, a mudança de concepções é multifacetada, envolvendo concomitantemente diversos aspectos.

“Na aprendizagem científica, a mudança pode ser pensada como reticulada e visando respectivamente conceitos, métodos e valores cognitivos. A aceitação, por parte do aprendiz, de que uma determinada conceitualização científica é melhor, no contexto acadêmico, do que a correspondente do senso comum, normalmente é alcançada sem necessariamente modificar as metodologias ou os valores explicativos. Somente após muitos sucessos com os novos conceitos, o aluno está em condições de questionar as finalidades ou as exigências de ambos os tipos de conhecimento e operar uma nova

modificação.”(VILLANI, BARROLI, CABRAL, FAGUNDES & YAMAZAKI, 1997, p. 40)

Planejar e conduzir uma aula que satisfaça estes requisitos não é tarefa simples, como alertam Villani et al. (1997, p. 40): “...o processo de mudança conceitual envolve negociação, entre alunos e professores, das tarefas didáticas e dos tipos de avaliação e a adaptação dos mesmos ao contexto institucional”

O paralelo entre o progresso científico e a aprendizagem em ciências nos inspirou para a elaboração do material utilizado nas atividades com os alunos, e também nos métodos utilizados na busca da evolução conceitual.

III. 2 Teoria da aprendizagem de Vygotsky

De acordo como Vygotsky (apud MOREIRA, 1999, p. 109) o “desenvolvimento cognitivo não ocorre independente do contexto social, histórico e cultural”. O desenvolvimento do individuo só pode ser entendido se for levado em consideração o contexto social e cultural em que ele está inserido.

A questão central da teoria de Vygotsky é a interação social, pois para ele a interação é “o veículo fundamental para a transmissão dinâmica (de inter para intrapessoal) do conhecimento social, histórica e culturalmente construído.” Moreira (ibid, p. 112). Para Vygotsky segundo Moreira (1999) o desenvolvimento cognitivo é a conversão de relações sociais em funções mentais, ou seja, é quando ocorre a socialização que se tem o desenvolvimento.

O conhecimento é sempre intermediado sendo que é nas relações com os outros que se constrói os conhecimentos. Segundo Vygotsky (2003) o aprendizado cultural, parte das funções básicas, transformando-se em funções psicológicas superiores^a, sendo estas funções características, exclusivas do homem. As funções mentais superiores não poderiam surgir e constituir-se no processo do desenvolvimento sem as interações sociais.

Para Vygotsky é necessário analisar processos e não objetos, significando provocar ou criar, artificialmente, um processo de desenvolvimento psicológico, o que Vygotsky (2003) chama de desenvolvimento-experimental. Na sua perspectiva,

^a Exemplos de funções psicológicas superiores: consciência, memória lógica, planejamento e a deliberação, emoções complexas sendo estas características exclusivas do homem.

“a verdadeira essência da experimentação é evocar o fenômeno em estudo de uma maneira artificial (e, portanto controlável) e estudar as variações nas respostas que ocorrem, em relação às várias mudanças nos estímulos” (p. 76). Acrescenta, ainda, que “se substituimos a análise do objeto pela análise de processo, então, a tarefa básica da pesquisa obviamente se torna uma reconstrução de cada estágio no desenvolvimento de processo: deve-se fazer com que o processo retorne aos seus estágios iniciais” (p. 82).

O desenvolvimento cognitivo é mediado por instrumentos e signos^b e, segundo Vygotsky (2003), pela mediação pode se dar a internalização de significados.

Para Vygotsky (2003) a linguagem é um sistema de signos, sendo este o maior instrumento de mediação entre sujeitos.

A linguagem se constitui nos processos de interiorização das funções psicológicas superiores. Para ele a relação entre o pensamento e a fala passa por várias mudanças ao longo do desenvolvimento. O progresso da fala não é paralelo ao progresso do pensamento. Apesar de terem origem e se desenvolverem independentes, em certo momento o pensamento e a linguagem se encontram e dão origem ao funcionamento psicológico complexo. Segundo Moreira (1999), “a fala deve ser, na perspectiva de Vygotsky, um marco fundamental no desenvolvimento cognitivo”

Vygotsky define dois níveis de desenvolvimento: zona de desenvolvimento real e zona de desenvolvimento proximal. Aquilo que o ser humano é capaz de fazer sozinho está dentro da zona de desenvolvimento real e zona de desenvolvimento proximal é segundo Vygotsky (apud MOREIRA, 1999, p. 116)

“a distância entre o nível desenvolvimento cognitivo real do indivíduo tal, como mediado por sua capacidade de resolver problemas independentemente e o nível de desenvolvimento potencial, tal como mediado através de solução de problemas sob a orientação ou em colaboração com companheiros mais capazes”.

Segundo Moreira e Osterman (1999), Vygotsky 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 a zona de desenvolvimento proximal, pois é nesta zona que o indivíduo se desenvolve se tiver orientação ou colaboração de terceiros. A zona de desenvolvimento proximal “é uma medida do potencial de aprendizagem; representa a região na qual o desenvolvimento cognitivo ocorre” (MOREIRA, 1999, p. 116).

^b “Signo é alguma coisa que significa outra coisa” (MOREIRA 1999, p112) como gestos, palavras, escrita etc. Instrumentos são ferramentas mediadoras da cultura, como a fala.

Acreditamos que através do uso de atividades experimentais pode-se alcançar mais facilmente este objetivo. “Esta interação social que provoca a aprendizagem deve ocorrer dentro da zona de desenvolvimento proximal” (MOREIRA, 1999, p. 116).

Aprendizagem é o processo em que o indivíduo adquire informações, habilidades, atitudes, valores etc., a partir de seu contato com a realidade, o meio ambiente, as outras pessoas. Inclui a dependência entre os indivíduos envolvidos no processo de aprendizagem, incluindo sempre aquele que aprende, aquele que ensina e a relação entre as pessoas. O desenvolvimento dificilmente ocorre na falta de situações propícias ao aprendizado.

IV. Atividades propostas, dinâmica das aulas e instrumentos de avaliação

Neste capítulo apresentamos as ideias básicas da unidade de ensino sobre ondas mecânicas desenvolvida, baseada em atividades experimentais (virtuais e reais) propostas à luz da epistemologia de Laudan, a serem desenvolvidas em sala de aula à luz da teoria da interação social de Vygostky.

Para a orientação dos alunos durante as atividades experimentais elaboramos guias potencialmente apropriados para uma evolução conceitual progressiva ao longo dos trabalhos, partindo de conceitos mais básicos e evoluindo para conceitos mais abstratos, procurando sempre situar as discussões na zona de desenvolvimento proximal do aluno, para que em colaboração com os colegas se sentisse mais motivado e mais apto a resolver as questões propostas. Na seção IV.1 apresentamos a estrutura dos guias elaborados e a dinâmica proposta para as aulas, na IV.2 o conteúdo das cinco atividades desenvolvidas e na seção IV.3, os instrumentos de avaliação. Complementam esta apresentação os guias elaborados para os professores conduzirem essas atividades com os seus alunos, que constituem o Apêndice A e o teste conceitual (Apêndice B).

IV. 1 Estrutura dos guias experimentais e dinâmica das aulas

Todos os guias apresentam uma mesma estrutura básica, com os itens que seguem.

Situação-problema e questão central: os guias começam com uma *questão central sobre uma situação-problema*, cujo significado espera-se que o aluno seja capaz de compreender sem qualquer introdução ao assunto, mas não seja 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 a 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 ideia 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 participantes da aula 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, requerendo 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.

IV.2 Atividades experimentais propostas

Os guias entregues aos alunos são apresentados integralmente no Apêndice A, no qual também apresentamos as respostas que consideramos satisfatórias para cada uma das questões propostas.

1) Atividade experimental: Ondas Mecânicas Transversais

Tempo previsto para aplicação da atividade: seis horas-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?”

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 em uma das extremidades de uma mola inicialmente presa na extremidade oposta e após emitir pulsos na mesma mola, mas estando ela neste momento com a extremidade oposta solta; analisar a reflexão nos dois casos e com a animação virtual analisar o mesmo efeito de forma mais lenta interligando os dois momentos; ii) emitir pulsos que se propagam em molas inicialmente relaxadas e depois alongadas; iii) analisar a superposição de pulsos nas molas, emitindo pulsos nas extremidades opostas da mola e discutir este efeito analisando também uma simulação virtual sobre superposição; iv) oscilar constantemente (modificando a frequência de oscilação) a mola presa por uma de suas extremidades, analisar o comportamento das ondas geradas por esta oscilação e utilizar a simulação virtual analisando o mesmo efeito interligando os dois momentos.

Procedimentos experimentais

Os alunos são conduzidos a:

- emitir pulsos em uma das extremidades de uma mola e analisar a reflexão destes com a mola presa na extremidade oposta. Após repetir o processo com a mola solta na extremidade oposta. Comparar o comportamento de reflexão do pulso nas duas situações. Com a animação virtual analisar a reflexão do pulso nas duas situações de forma mais lenta interligando os dois momentos;

- emitir pulsos que se propagam em molas inicialmente relaxadas e depois mais alongadas. Analisar a dependência da tensão do material com a velocidade de propagação do pulso;

- emitir pulsos nas duas extremidades da mola e analisar a superposição de pulsos nas molas e discutir este efeito. Observar também uma simulação virtual sobre superposição no endereço

http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/simulacoes/ondas/transversais/html/superposicao_pulsos1.htm (SILVA & VEIT, 2009) analisando o comportamento dos pulsos quando se encontram e o comportamento destes logo após o encontro;

- oscilar constantemente (modificando a frequência de oscilação) a mola presa por uma de suas extremidades e analisar o comportamento das ondas geradas por esta oscilação. Utilizar a simulação virtual no endereço:

http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/simulacoes/ondas/transversais/html/harmonico_1.html, (SILVA & VEIT, 2009) que oferece a oportunidade de ver isoladamente duas ondas que se propagam em sentido contrários e o resultado de sua superposição, formando uma onda estacionária por estarem em frequências de ressonância.

2) Atividade experimental: Propagação de ondas Marítimas

Tempo previsto para aplicação da atividade: duas horas-aulas.

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?”

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 (SILVA & VEIT, 2009); 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 ou na crista da onda. Analisar a direção e o sentido do deslocamento destas porções de 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 perpendiculares a ela? Por que isto acontece?

3) Atividade experimental: Ondas Estacionárias em tubos

Tempo previsto para aplicação da atividade: quatro horas-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?”

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 som (por ex., *Spectrogram* versão 16.0 (HORNE, 2009)).

A atividade experimental consiste em: i) analisar no endereço

http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/simulacoes/ondas/som/onda_sonora_fendt.htm (SILVA & VEIT, 2009)

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 (SAAB, CÁSSARO, BRINATTI, 2005) iii) com uma flauta doce e um programa computacional de análise de som (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 PVC^a e fixando o tubo;

- soprar o apito na extremidade fechada com papel celofane e determinar a frequência da onda sonora produzida com o programa Spectrogram;

- 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);

^a 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.

- observar, no *software Spectrogram*^b, 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.

Outras questões levantadas como aprofundamento

No endereço

http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/simulacoes/ondas/som/onda_sonora_lucite.htm

tem-se uma simulação que representa a variação de pressão quando há propagação da onda sonora em lucite. Qual a relação entre as regiões claras e escuras com a pressão exercida neste meio? (Observe o gráfico abaixo da animação para responder). Qual a direção em que se observa variação de pressão em relação ao gerador representado na animação?

4) Atividade experimental: Notas Musicais e Timbres de Instrumentos Musicais

Tempo previsto para aplicação da atividade: quatro horas 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?”.

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

A atividade experimental consiste em: i) gerar ondas sonoras dentro de garrafas de diferentes tamanhos e determinar as frequências fundamentais (OLIVEIRA, VEIT,

^b HORNE, R. Spectrogram. Disponível em: <<http://www.monumental.com.rshorne/gram.html>>. Acesso em: 25 jul. 2009.

SCHNEIDER, 2009); ii) utilizar notas geradas por um violão para discutir as diferentes notas musicais, analisando as frequências fundamentais; iii) trocando a posição do toque em uma corda do violão, analisar a intensidade dos harmônicos; iv) usar um diapasão 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 *programa 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 semi-tons;

- 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 diapasão. Observar os picos de intensidade de frequência de uma mesma nota musical tocada no violão e no diapasão. 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.

5) Atividade experimental: Efeito do doppler e batimentos sonoros

Tempo previsto para aplicação da atividade: quatro horas 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*^c V 2.1 instalados, microfone, caixas de som.

A atividade experimental consiste em: 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* (SILVA et al., 2004; SILVA & SILVA, 2009) 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 programa *Spectrogram* para analisar o som resultante.

Procedimentos experimentais

Os alunos são conduzidos a:

^c SILVA; W. P. S; SILVA, C. M. D. P. S. *Batimento*. Disponível em: <<http://www.angelfire.com/ab5/extensao/batimento.html>>. Acesso em: 25 jul. 2009.

- 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 programa *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?

IV.3 Instrumentos de avaliação

Os instrumentos propostos para avaliação são um teste conceitual, apresentado no Apêndice B, a ser usado como pré e pós-teste, e respostas a questões formuladas nos guias de atividades.

O teste conceitual que elaboramos consiste em cinco questões discursivas, sete questões de múltipla escolha, uma do tipo verdadeiro ou falso, e duas outras com possibilidade de ter mais de uma alternativa a ser assinalada.

As cinco primeiras questões são as discursivas, nas quais é solicitado ao aluno que apresente os motivos que o levam a pensar que sua resposta esteja correta com o objetivo de se compreender seu raciocínio. Estas questões abordam a dependência de propagação das ondas mecânicas, concepções sobre ondas longitudinais e transversais, diferença entre frequência, velocidade e comprimento de uma onda, comportamento dos pulsos quando se cruzam e interferem-se destrutivamente e o efeito de difração das ondas sonoras.

Da questão seis a doze, é solicitado ao aluno que escolha a alternativa que para ele melhor responde a questão. Estas questões abordam a propagação das ondas na água, a reflexão de uma onda em uma extremidade fixa, interferência de ondas sonoras, timbre, notas

musicais e sua dependência com a frequência da onda, reflexão e interferência de ondas sonoras e fatores que afetam a frequência de uma onda sonora.

Na questão treze, contendo dez afirmativas, o aluno terá que julgar o caráter verdadeiro ou falso da afirmativa. A primeira afirmação é referente à difração da luz, a segunda trata da velocidade da onda e da velocidade de cada partícula que compõe o meio material em que a onda se propaga, a terceira trata da dependência da velocidade de propagação da onda mecânica com o meio material em que se propaga, a quarta trata da interferência de ondas, a quinta do efeito de refração, a sexta sobre superposição, a sétima sobre onda estacionária, a oitava sobre a relação entre o efeito de reflexão e onda estacionária, a nona trata da dependência da refração com a alteração ou não da frequência, e a décima trata do que a onda transporta.

A questão quatorze e a quinze podem conter mais de uma afirmação correta. A questão quatorze trata das razões que levam um violeiro a fixar a corda em certas posições da viola e dedilhar; a questão quinze, de ondas sonoras estacionárias em tubos.

Este teste foi submetido à validação de conteúdo por parte de três especialistas na área - o autor deste trabalho e seus orientadores - e foi calculado o coeficiente de fidedignidade (conforme apresentado no próximo capítulo) a partir das respostas dadas pelos alunos.

Além de levar em conta o desempenho no teste conceitual, consideramos muito importante tomar em conta as respostas discursivas dos alunos em questões dos guias de atividades e as observações do professor em sala de aula, como fazemos no próximo capítulo.

No presente capítulo, apresentamos os guias de atividades propostos e os instrumentos que nos permitirão, no próximo capítulo, depois de relatar a aplicação deste material em uma turma de ensino médio, avaliar a aprendizagem dos alunos.

V. Resultados e análise dos dados

Neste capítulo relatamos com algum detalhe como transcorreu a aplicação do material desenvolvido em uma turma da terceira série na Escola de Ensino Médio Antônio Knabben, na cidade de Gravatal, Santa Catarina, e analisamos os resultados obtidos.

V.1 Contextualização

A Escola de Ensino Médio Antônio Knabben se localiza em Gravatal, Santa Catarina, na rodovia SC 438 km 200. Trata-se de uma escola de ensino regular, com sete salas de aula, laboratório de Química, laboratório de Informática, com quinze computadores conectados à Internet, e uma sala com um computador acoplado a um sistema de multimídia, também conectado à Internet.

A escola tem em torno de 300 alunos, distribuídos em dez turmas, sendo a metade delas no turno vespertino e a outra metade no noturno. No turno vespertino há duas primeiras séries, duas segundas séries e uma terceira série; no noturno, há duas primeiras séries, uma segunda série e duas terceiras séries.

O sistema de avaliação é bimestral, sendo usual em cada bimestre duas provas, com direito a recuperação, além de ser levada em conta a participação em aula e em outras atividades eventualmente organizadas, como feiras de ciências e olimpíadas.

Nossa experiência didática foi realizada em uma turma da 3ª série do noturno^a no primeiro semestre de 2007. Para melhor avaliar os resultados desta experiência didática coletamos dados de outra turma da 3ª série do curso noturno, que desempenhou o papel de turma de controle, na qual não aplicamos o material desenvolvido. Nesta turma foram desenvolvidas atividades experimentais, dentro dos moldes tradicionais, envolvendo os mesmo conceitos, mas sem dispor dos guias que desenvolvemos no presente trabalho.

A turma em que foi realizada a experiência didática, que passaremos a denominar de Turma A, continha inicialmente 19 alunos ao final, 17; a turma de controle, que denominaremos de Turma B, continha inicialmente 20 alunos e ao final, 16.

^a Esta era a Turma 03 e a de controle a Turma 02.

V.2 Relatório das cinco atividades desenvolvidas

Nesta seção apresentamos o relatório de cada uma das atividades desenvolvidas.

V.2.1. Relatório da primeira atividade

Esta atividade teve início em 08/03/2007 e se estendeu até 19/03/2007, tendo havido dois encontros de 2h-aula de duração e dois outros com 1h-aula. Como esta era a primeira atividade a ser desenvolvida, nos instantes iniciais do primeiro encontro ficou definida a constituição dos grupos de trabalho para esta e para as atividades seguintes. Foram formados quatro grupos com quatro integrantes e um grupo com cinco componentes. Na primeira aula um dos alunos do grupo maior não compareceu. Nos primeiros 20 min. os alunos se dedicaram a responder às questões iniciais, que visavam testar seus conhecimentos sobre o comportamento de ondas em cordas e molas. Imediatamente após, durante cerca de 35min, em pequenos grupos, discutiram suas respostas individuais e relacionaram-nas com as de seus colegas de grupo, chegando, então, a respostas consensuais do grupo, com exceção de um dos grupos que, não tendo chegado a comum acordo, precisou que a professora intercedesse para que pudesse levar a atividade adiante.

Neste primeiro encontro (2h-aula) foram realizadas duas experiências com molas: i) emissão de pulsos em uma das extremidades de uma mola inicialmente presa na extremidade oposta e após emissão de pulsos na mesma mola, mas estando ela neste momento com a extremidade oposta solta; ii) emissão de pulsos que se propagam em molas inicialmente relaxadas e depois alongadas^b.

Todos preencheram seus guias com suas análises, havendo várias discussões internas dentro de cada grupo, mas também discussões entre um grupo e outro, superando nossas expectativas, particularmente porque a turma se mostrou muito envolvida na atividade, com um aluno querendo ter mais razão que o outro. A maior parte dos alunos se mostrou entusiasmada e interessada em resolver cada questão, tendo para isto, com certa frequência, requerido explicações da professora.

^b Não foi possível desenvolver a experiência virtual planejada, devido a problemas no laboratório de informática.

Algumas das perguntas e comentários feitos, que ilustram o envolvimento dos alunos são:

“Professora, A1 tá dizendo que o pulso vai e não volta, mas é claro que volta. F. você não vê que é que nem um bola, se ela bate na parede ela volta, né professora?” (Aluno 7).

“Como pode professora duas ondas se encontrarem, não se chocarem? Como elas não param? Não se desmancham?” (Aluno A14)

“Por quê? Eu não entendo como só nesta agitação na mola que ela fica que parece um laço. (Aluno A1, questionando a formação de onda estacionária na mola.)

“É só eu aumentar um pouquinho já bagunça tudo.” (Aluno A1, continuando seu raciocínio sobre a formação de onda estacionária.)

“Mas como o pulso é mais lento na mola juntinha do que na mola esticada, se na junta tem mais elos da mola para a onda andar?” (Aluno A5, intrigado com a influência da tensão na mola.)

“Por que os pulsos quando se encontram, não viram um só?” (Aluno A19)

“Se eu estou fazendo a onda ir, e estas voltam, como a gente já falou, nestes pontos aí que ficam sempre do mesmo jeito, deve tá passando duas [ondas] neste ponto. É sempre neste ponto que ...uma destrói a outra, mas então por que não é assim também nos outros pontos?” (Aluno A15, curioso pela formação dos nós na onda estacionária.)

No segundo encontro (1h-aula dia 12/03/2007) deu-se sequência à atividade, com a realização de experiências com molas em que emitiam-se pulsos nas extremidades opostas para a análise da superposição de pulsos e discussão da superposição de ondas. Estas experiências foram muito úteis para esclarecer algumas dúvidas quanto ao comportamento das ondas, principalmente quanto à superposição de ondas e à formação de ondas estacionárias. Os três alunos que faltaram a esta aula, recuperaram-na no dia 20/03/2007.

No terceiro encontro (1h-aula dia 15/03/2007) realizaram-se as últimas experiências com molas, modificando-se a frequência de oscilação.

Somente no quarto encontro (2h-aula dia 19/03/2007) os alunos trabalharam com as atividades virtuais, relacionando-as com as atividades reais com molas realizadas nas aulas anteriores, ficando mais claro o comportamento dos pulsos e ondas quando estas se encontram. Isso possibilitou que eles complementassem algumas das respostas que haviam ficado incompletas.

V.2.2 Relatório da segunda atividade

Esta atividade teve início em 29/03/2007 e foi completada 12/04/2007, tendo havido dois encontros com 2h-aula de duração cada.

Na primeira aula (2h-aula dia 29/03/2007) dois alunos faltaram. Nos primeiros 20min os alunos se dedicaram a responder as questões que testam seus conhecimentos sobre o comportamento de porções de água quando ondas se propagam.

Depois, em grupos discutiram por aproximadamente 15min, sobre as respostas dadas às questões preparatórias, sendo que um grupo se destacou em suas conclusões, apresentando respostas coerentes com as respostas cientificamente aceitas.

Em continuação, os alunos trabalharam com uma simulação^c, na qual se destaca um ponto em vermelho representando uma porção de água em uma região em que se propaga uma onda. Alguns alunos tiveram dificuldade para compreender o movimento do ponto vermelho, o que gerou alguma discussão, havendo alunos que afirmavam que o movimento da água realmente era quase circular (“elíptico”), enquanto outros diziam impossível ser este o movimento da água quando uma onda passa, pois esta porção de água deveria simplesmente subir e descer, questionando assim a veracidade da animação. Consideramos este aspecto positivo, pois é preferível que os alunos observem criticamente as simulações virtuais, em vez de considerá-las inquestionavelmente corretas.

Na segunda aula (2h-aula, dia 12/04/2007) deu-se sequência às discussões sobre o comportamento das partículas de água a partir de uma experiência real que consistiu em gerar ondas em um recipiente contendo água e analisar o movimento de uma folha quando as ondas passam por ela. Esta experiência serviu para os alunos compreenderem melhor a propagação de ondas na água e para fazer a relação do ponto vermelho mostrado na simulação da aula anterior e com o movimento do surfista quando este está na calha ou na crista da onda.

Neste dia a maior dificuldade foi responder às questões de aprofundamento que tratavam do movimento circular da água à medida que a profundidade aumenta e a refração sofrida pelas ondas do mar.

Algumas das perguntas e comentários que ilustram o envolvimento dos alunos são:

“Viu, eu disse! Olha a folha, ela vai para frente e para trás e não só sobe e desce.”

(Aluno A9)

^c http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/simulacoes/ondas/transversais/onda_agua.htm

“Então a onda na água não é igual a onda da mola ou da corda? Parece que nos livros de Física a onda na água é tal qual.” (Aluno A1)

“Então, é por isso que quando a gente está no mar em certos momentos ele puxa para dentro e em outro ele empurra para a beira do mar. Eu bem sinto isso.” (Aluno A12)

“No mar fica claro. A onda na água não é só de sobe e desce, ela também vai para frente e para trás.” (Aluno A7)

Não houve dificuldades maiores para responder a questão principal, depois das discussões provocadas pela atividade virtual e pela demonstração real. A demonstração real foi fundamental para que alguns alunos percebessem que a simulação representava bem uma onda na água, e que o ponto se moveria elipticamente.

V. 2. 3 Relatório da terceira atividade

Esta atividade teve início em 26/04/2007 e se estendeu até 10/05/2007, tendo havido três encontros de 2h-aula de duração.

Na primeira aula (2h-aula, dia 26/04/2007) os alunos responderam às questões preparatórias, apresentando muita dificuldade em respondê-las e vários alunos não tinham qualquer ideia sobre o que responder ou não estavam conseguindo colocar no papel o que pensavam. Logo após, discutiram dentro de seus grupos as respostas dadas, o que foi decisivo para que todos os alunos passassem a ter elementos para construir alguma resposta. A primeira atividade prática foi virtual, mostrando uma representação do movimento microscópico das partículas de ar quando uma onda se propaga no interior de um tubo com uma extremidade fechada, formando ondas estacionárias. De imediato os alunos realizaram uma atividade real, soando um apito para gerar uma onda estacionária em um tubo de ensaio, contendo pó de cortiça (tubo de Kundt adaptado). Baseados nos dados experimentais coletados, os alunos responderam questões referentes aos dados e questões sobre a relação entre a atividade real e a simulação estudada inicialmente.

Na segunda aula (2h-aula, dia 03/05/2007) foram analisadas ondas estacionárias em tubos a partir dos gráficos de ondas de deslocamento correspondentes à frequência fundamental, 2º modo e 3º modo de oscilação. Uma sucessão de gráficos (estáticos) para cinco diferentes instantes de tempo foi mostrada para cada um destes modos de vibração,

tendo sido estabelecidas as equações matemáticas que relacionam o comprimento do tubo com o comprimento de onda destes harmônicos.

A maior dificuldade apresentada pelos alunos foi na interpretação destes gráficos, especialmente porque não conseguiam aceitar que pudessem representar grandezas associadas à propagação de ondas longitudinais, como evidenciado nesta observação de um aluno:

“Por que a professora insiste em dizer que a onda sonora se propaga diferente da onda na corda se o gráfico da onda estacionária que representa a oscilação das partículas é igual ao que se vê na mola e a cortiça dentro do tubo fica igual ao gráfico?” (Aluno 4)

Como o perfil dos gráficos associados a ondas sonoras e a ondas estacionárias em cordas é o mesmo, eles imaginavam que a onda sonora deveria ser do tipo transversal, como uma onda em uma corda. A dificuldade situava-se, especificamente, em perceber que cada gráfico representava instantes de tempo distintos e que estavam associados ao deslocamento das partículas em relação às suas posições de equilíbrio, e não em relação ao eixo do próprio gráfico.

Na terceira aula (2h-aula, dia 10/05/2007) os alunos voltaram a discutir o experimento real do tubo de Kundt adaptado, relacionando-o com os gráficos estudados na aula anterior e calculando a velocidade do som neste tubo. Com a equação da velocidade em função da frequência e comprimento de onda e com as experiências virtuais que evidenciavam que com o aumento de frequência o comprimento de onda diminui, a conclusão de que a velocidade do som no ar é constante, não dependendo da frequência, ficou óbvia.

Com uma flauta e o programa *Spectrogram* foi discutida a relação do comprimento do tubo com a frequência fundamental. O estudo das ondas estacionárias nas molas foi fundamental para que eles compreendessem ideias básicas associadas a ondas estacionárias e o tubo de Kundt auxiliou a visualização do surgimento e comportamento de ondas estacionárias sonoras.

Algumas das perguntas e comentários feitos, que ilustram o envolvimento dos alunos seguem abaixo.

“Estes nós são ausência de som, então se a onda gerada dentro de um tubo puder sair em certos momentos não vou escutar nada?”(Aluno A2)

“É possível se ter harmônicos de menores frequências do que a fundamental?” (Aluno A7)

“É com qualquer som que se forma uma onda estacionária dentro do tubo? Se gritar bem forte na frente do tubo será que não pode formar uma onda estacionária?” (Aluno A9)

“Em um tubo a frequência do som que sai dele é sempre a mesma? Se eu apitar com outro apito de valor diferente não vai se formar os morrinhos? Não dá para ter número de morrinhos diferente?” (Aluno A13)

V. 2. 4 Relatório da quarta atividade

Esta atividade teve início em 31/05/2007 e se estendeu até 21/06/2007, tendo havido três encontros de 2h-aula de duração. Para tomada de dados foi utilizado o programa *Spectrogram*.

Na primeira aula (2h-aula, dia 31/05/2007) os alunos responderam às questões preparatórias. Foi possível perceber a evolução nas respostas dadas nestas questões se comparada com as questões preparatórias dos guias anteriores. Foram realizadas nesta data as seguintes experiências: i) geração de ondas sonoras dentro de garrafas de diferentes tamanhos e determinação das frequências fundamentais e ii) utilização das frequências geradas por um violão para discutir as diferentes notas musicais e as frequências fundamentais.

Todos preencheram seus guias com suas análises, havendo várias discussões internas dentro de cada grupo.

No segundo encontro (2h-aula, dia 14/06/2007) os alunos concluíram medida das frequências fundamentais e as relacionaram facilmente com as notas musicais. Ainda usando o violão para a geração de som e trocando a posição dos toques em uma das cordas do violão, foram analisadas as intensidades dos harmônicos e a influência destes no timbre de notas musicais.

Na terceira aula (2h-aula, dia 21/06/2007) foi usado i) um diapasão de frequência igual à da nota Lá para comparar com a frequência fundamental da nota Lá do violão e ii) um teclado e um violão para emitir as mesmas notas da mesma oitava e analisar os harmônicos estabelecidos. Os alunos não apresentaram maiores dificuldades nesta atividade e compreenderam facilmente a geração das notas e a relação destas com a frequência de vibração da corda.

O programa *Spectrogram* facilitou aos alunos a compreensão do porquê mesmo os instrumentos emitindo a mesma nota seus timbres não são os mesmos.

Os alunos apresentaram muita curiosidade quanto à construção das notas musicais no violão, e sobre o timbre. Voluntariamente na última aula sobre o assunto trouxeram um teclado, um trompete (um ex-aluno da escola o trouxe e tocou) e com o programa *Spectrogram* mediram também as frequências fundamentais de diferentes notas musicais nestes instrumentos e também da voz. Conseguiram identificar as notas dos instrumentos pelas frequências fundamentais obtidas no programa e comparar os valores obtidos com os valores já tabelados.

Transcrevemos abaixo algumas das perguntas e comentários feitos, que ilustram o envolvimento dos alunos.

“Professora, por que quando um músico toca um violão ele precisa afinar a corda?”(Aluno A16)

“Quando eu aumento o volume, o som não aumenta? Como?” (Aluno A15)

“É com qualquer garrafa que se forma onda estacionária?” (Aluno A19)

“Por que este pico do gráfico representa a frequência fundamental se ele não é o primeiro?” (Aluno A5)

“Som grave é uma espécie de som baixo é isso?” (Aluno A18)

“Dois irmãos gênios tem o mesmo timbre sonoro?” (Aluno A1)

“Oh, prof., como que eu sempre ouvi falar que as notas musicais são apenas oito?” (Aluno A11)

“A corda solta emite uma frequência fundamental, ok. Mas ela presa não deveria emitir harmônicos?” (Aluno A3)

“Como que a nota formada na corda é a mesma que a gente escuta?” (Aluno A3)

V. 2. 5 Relatório da quinta atividade

Esta atividade teve início em 05/07/2007 e se estendeu até 12/07/2007, tendo havido dois encontros de 2h-aula de duração.

Na primeira aula (2h-aula, dia 5/07/2007) as atividades foram: i) análise de uma simulação de um músico executando uma nota, localizado em um trem em movimento^d e ii)

^d <http://www.seed.slb.com/pt/scictr/lab/doppler/train.htm>

análise e comparação das frentes de onda originadas em uma fonte que se aproxima e se afasta de um observador[°].

Na primeira experiência virtual os alunos já conseguiram relacionar o som grave e agudo com os movimentos de aproximação e afastamento. Na segunda atividade, os alunos tiveram a oportunidade de relacionar a variação da frequência com a variação do comprimento de onda que chega ao observador.

A maior dificuldade dos alunos nesta aula foi compreender a equação que rege o efeito Doppler, pois mesmo já conhecendo a equação da velocidade do som, dificuldades matemáticas complicaram a obtenção da equação do efeito Doppler.

Na segunda aula (2h-aula, dia 12/07/2007) foi explorado o conceito de batimento. Para isto, com o programa Batimento foram selecionadas duas frequências próximas e, além de discutirem as características do som que escutavam, os alunos usaram o programa *Spectrogram* para analisar espectro sonoro. O uso simultâneo dos *softwares* Batimento e *Spectrogram* facilitou a compreensão do conceito de batimento, pois ao mesmo tempo que os alunos escutavam o efeito do batimento, visualizavam a superposição graficamente. Também modificaram as frequências, aumentando a diferença entre elas, e calcularam a nova frequência dos batimentos; não houve dificuldades neste momento, tendo os alunos concluído que à medida que as frequências se aproximavam, a frequência dos batimentos diminuía, até que não fossem mais percebidos os batimentos.

Finalizando esta aula, os alunos tiveram a oportunidade de observar o efeito Doppler. Para isto eles selecionavam apenas uma frequência para execução, aproximavam e afastavam da parede a caixa de som do computador e com o programa *Spectrogram* analisavam o som resultante. Nesta experiência os alunos obtiveram batimentos devido ao efeito Doppler causado pela aproximação e afastamento da caixa de som da parede e pela superposição das ondas sonoras refletidas pela parede com as ondas diretamente emitidas pela caixa de som. Os alunos não tiveram dificuldade de compreender o som resultante, pois conceitos como reflexão de ondas, interferências destrutivas e construtivas em um ponto e, especialmente, o efeito de batimento, já estavam bem claras. Esta experiência fechou a atividade unindo os dois fenômenos que os alunos estudaram, batimento e efeito Doppler.

[°] http://www.walter-fendt.de/ph14br/dopplereff_br.htm

Algumas das perguntas e comentários feitos, que ilustram o envolvimento dos alunos são:

“Esta alteração da frequência quando a fonte está em movimento também acontece quando o observador está em movimento?”(Aluno A19)

“A frequência percebida pelo observador pode se considerada com a frequência real do som?” (Aluno A17)

“Porque apenas com diferenças maiores das frequências das fontes é possível perceber o batimento?”(Aluno A12)

“Por que o batimento e a onda estacionária não são a mesma coisa, se tem interferência destrutiva e construtiva?...Mas o gráfico do batimento é igual ao da onda estacionária?”(Aluno A7)

“No que influencia a aproximação e afastamento da caixa de som para a percepção do batimento?”(Aluno A19)

V. 3. Resultados do pré e pós-testes

Conforme mencionado anteriormente, o teste conceitual proposto e aplicado como pré e pós-teste encontra-se no Apêndice B. Os alunos pertencentes à Turma A realizaram o pré-teste no dia 30/11/2006 e o pós-teste no dia 09/08/2007; a Turma B realizou o pré-teste no dia 01/03/2007 e o pós-teste no dia 19/07/2007.

Às respostas das quatro primeiras questões do teste foram atribuídos escores dentro da seguinte escala:

0 para as respostas erradas e em branco;

1 para respostas com algum sentido, mas apresentando erros ou lacunas na argumentação;

2 para respostas consideradas boas.

Algumas questões versavam sobre diferentes conceitos, sendo atribuídos escores parciais a cada um deles. O escore total de cada aluno nestas questões foi calculado a partir da média dos escores parciais, tendo sido normalizados a 2, ou seja, 2 é o valor máximo das questões 1 a 4. A questão 5 não foi considerada porque o conceito de difração não foi tratado no material desenvolvido, tendo este item excluído do pós-teste.

Nas Tabelas C.1 a C.4 do Apêndice C são transcritas as respostas dos alunos da Turma A, para as quatro primeiras questões do pré-teste e os correspondentes escores parciais atribuídos. Nas Tabelas C.5 a C.8 constam as respostas dadas às quatro primeiras questões do pós-teste e correspondentes escores parciais atribuídos. Nessas tabelas foram transcritas as respostas de todos os alunos, mas no cálculo das médias só foram considerados os 17 alunos da Turma A e os 16 da Turma B que responderam ao pré e ao pós-teste.

As questões 6 a 12, de escolha simples, foram tabuladas admitindo-se escore 1 quando a resposta estava correta e 0, quando errada. Dito de outra maneira, estas questões tiveram peso 1 no cálculo do escore final do aluno, enquanto as questões dissertativas tiveram peso 2.

Na questão 13, quando o aluno classificou corretamente a alternativa (como verdadeira ou falsa), o escore parcial atribuído foi 1, do contrário, 0. O escore final nesta questão foi determinado a partir dos escores parciais obtidos nas diversas alternativas, normalizada a 2, ou seja, esta questão teve o mesmo peso das questões dissertativas, e o dobro das questões de escolha simples.

Às questões 14 e 15 também tiveram peso 1. Nestas duas questões os escores atribuídos foram proporcionais ao número de alternativas que o aluno respondeu corretamente em cada questão.

Um aluno que acertasse integralmente todo o teste ficaria com escore final 19. Esse escore final foi transformado por regra de três para nota final em uma escala de 0 a 10. O aluno com maior nota ficou com 9,1 e o aluno com menor nota, 1,3. As respostas do pré e pós-teste das duas turmas foram usadas para calcular o coeficiente de fidedignidade do teste, resultando no valor de 0,83, ou seja, o teste demonstrou bom poder de discriminação.

As médias obtidas pelas duas turmas no pré e pós-teste, com os correspondentes desvios padrão, são mostradas na Figura V.1. Observa-se que as duas turmas estavam inicialmente em um mesmo nível, pois embora a média da Turma A fosse levemente superior, encontrava-se dentro de um desvio padrão da média da Turma B. Já a evolução das duas turmas é notoriamente distinta, pois os alunos da Turma A evoluíram de uma média no pré-teste de 3,4 para 7,9 no pós-teste, com um ganho de 4,5 na média da turma. Já a média da Turma B passou de 2,8 para 4,9, com um ganho de 2,1. O teste t para diferença entre os ganhos resultou em $t = 5,4$, com significância estatística em nível 0,000.

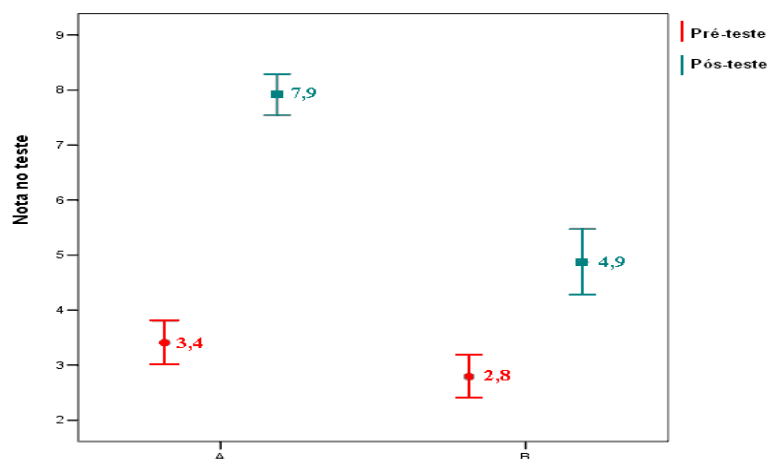


Figura V.1 Médias obtidas no pré e pós-teste pelas duas turmas, e correspondentes desvios padrão.

V.4. Avaliação de questões dos guias de atividades

Conforme dito anteriormente, os guias foram estruturados de tal forma que os alunos respondiam inicialmente questões preparatórias e depois no decorrer das atividades, questões referentes às mesmas. Os guias eram entregues preenchidos individualmente e para cada aluno atribuiu-se uma nota que levava em conta, além das respostas escritas, a participação em aula. Na atribuição de notas levou-se em conta, dentro de uma mesmo guia, a evolução das respostas dadas às questões preparatórias e às seguintes. A partir do segundo guia, na atribuição de notas considerou-se, também, a evolução das respostas dadas no guia anterior para as respostas sob avaliação, particularmente nas questões que enfocavam conceitos e situações similares. Estas notas serviram para a avaliação bimestral.

Para fins de avaliação do presente projeto, consideramos importante levar em conta as nossas observações em sala de aula, registradas no diário de classe, além das respostas discursivas dos alunos.

À guisa de ilustração, na Tabela V.1 apresentamos as respostas de alguns alunos a algumas questões. Para a escolha dos alunos cujas respostas comporiam a Tabela V.1 seguimos como critério o grau de facilidade ou dificuldade que os alunos apresentaram no decorrer das atividades. Os alunos A19 e A7 foram dois dos melhores alunos, conseguindo resolver as questões com certa facilidade, o aluno A2 apresentou desempenho mediano e o aluno A11 foi um dos que teve maior dificuldade ao longo das atividades.

Tabela V.1 Exemplos de respostas a questões de alguns guias.

Exemplos de respostas a questões do primeiro guia	
Questão E.7	Na extremidade presa há algum tipo de oscilação? Qual a relação com os pontos de oscilação nula?
A19	<i>Não, não tem oscilação.</i>
A7	<i>Não, há um nó.</i>
A 2	<i>Não há oscilação</i>
A11	<i>Não</i>
Questão E.9	O que ocorre com os pontos de oscilação nula à medida que a frequência é aumentada?
A19	<i>Os pontos de oscilação nula aumentam.</i>
A7	<i>Quanto maior a agitação maior o numero de nós.</i>
A2	<i>Eles aumentam</i>
A11	<i>Aumenta</i>
Questão V.10	Que diferenças vocês nota no comportamento da corda que é ilustrado nos casos $n = 1$, $n = 2$, $n = 3$ e $n = 4$?
A19	<i>Velocidades diferentes, frequência maior, maior velocidade de movimento. mais nós.</i>
A7	<i>Para aumentar o número de nós tem que aumentar a velocidade de oscilação.</i>
A2	<i>Maior frequência maior o número de pontos sem oscilação.</i>
A11	<i>O número de pontos são diferentes.</i>
Exemplos de respostas a questões do terceiro guia	
Questão E.5	O que ocorre com o pó de cortiça na extremidade fechada e rígida do tubo? Por que isso ocorre?
A19	<i>Ocorre um nodo de oscilação, porque a parede impede a vibração do ar.</i>
A7	<i>Um nó de oscilação, porque a impede esta oscilação.</i>
A2	<i>Ocorre um nó de oscilação, porque a parede impede a vibração.</i>
A11	<i>Um nó, a parede impede a oscilação.</i>
Questão V.6	Como fica a expressão que relaciona o comprimento do tubo com o número n de nodos e o comprimento de onda na sua uma forma geral?
A19	<i>Como a onda que se forma é sempre tem um ventre na extremidade aberta nunca se tem um comprimento de onda inteiro, então $L=n.(\lambda/4)$ onde o n é sempre impar $n=1,3,5,\dots$</i>
A7	<i>Na extremidade aberta não é possível que haja um nó de oscilação, como na extremidade fachada sempre há. Devido a isso é impossível se formar uma onda inteira dentro do tubo (menor ou maior) as razões possíveis são $1/4, 3/4, 5/4, 7/4$. A relação que se tem entre o comprimento de onda com o comprimento do tubo sempre é uma relação impar. Então a equação fica: $L= n.(\lambda/4)$. onde n é sempre impar.</i>
A2	<i>O tubo por ser aberto em um lado impede que neste ponto haja um nó de oscilação, na primeira frequência cabe dentro do tubo $1/4$ de onda, na segunda, $3/4$, então a expressão fica $L= n.(\lambda/4)$ onde $n=1,3,5,7,\dots$</i>
A11	<i>$L= n.(\lambda/4)$, o n sempre impar pois não cabe apenas uma onda inteira dentro do tubo, ou uma parte desta ou a onda e mais uma parte.</i>

Questão E.11	Que relação é possível fazer entre a flauta doce e tubo de uma extremidade fechada e fixa?
A19	<i>A flauta doce é um tubo de uma extremidade fechada então da mesma forma que no tubo a medida que o comprimento diminui, a frequência aumenta.</i>
A7	<i>O tubo diminuído a frequência aumentava. Na flauta os orifícios abertos se comportam como uma extremidade aberta e a extremidade de sopro se comporta como uma extremidade fechada.</i>
A2	<i>A medida que o tubo diminui a frequência aumenta, a medida que os orifícios vão sendo abertos a frequência também aumenta.</i>
A11	<i>Os orifícios vão sendo abertos a frequência vai aumentando.</i>
Exemplos de respostas a questões do quinto guia	
Questão V.5	Há diferença entre o som que o menino escuta quando o trem se aproxima e se afasta dele para o som que a menina escuta quando o mesmo trem se aproxima e se afasta do menino?
A19	<i>Para a menina o som continua o mesmo porque ela se encontra no trem. Agora para o menino há variações no som, o som inicialmente vai em direção ao menino, havendo redução no comprimento de onda do percebido pelo menino, e quando se afasta o modifica novamente, pois o comprimento de onda que chega agora no menino é aumentado.</i>
A7	<i>Sim. O som ouvido pela menina é sempre o mesmo, já para o menino há variações, ou seja quando o trem se aproxima a frequência aumentará e quando ele se afasta a frequência diminuirá</i>
A2	<i>Para a menina o som não se modifica, pois ela está em repouso em relação ao trem. Já para o menino o trem está em movimento por isso há variação sonora.</i>
A11	<i>Para a menina o som é constante para o menino há variações.</i>
Questão V.10	Qual a diferença entre os batimentos e as ondas estacionária?
A19	<i>Nas ondas estacionárias há interferência destrutiva sempre no mesmo ponto. No batimento a interferência destrutiva não ocorre sempre no mesmo lugar, pois esta varia com o tempo.</i>
A7	<i>Nas ondas estacionarias quando não alterada a frequência, tem seus pontos de interferência construtiva e destrutiva invariáveis. No efeito Batimento é possível perceber através do gráfico e através de nossas percepções que estas interferência destrutiva por exemplo muda de posição com o tempo, pois em um instante percebo um mínimo de intensidade sonora e logo após percebo um máximo.</i>
A2	<i>Na onda estacionaria a interferência destrutiva e construtiva são sempre nos mesmos lugares. Já nos batimentos a interferência destrutiva ela muda de posição ao longo do tempo, ou seja, em um lugar onde não se escuta em um momento, em um momento após passa-se a escutar.</i>
A11	<i>No efeito Batimento a interferência destrutiva muda de posição com o tempo, já na onda estacionária a interferência destrutiva sempre acontece no mesmo lugar.</i>
Questão E.3	O que se percebe em relação ao som resultante à medida que se aproxima e afasta alternadamente a caixa de som da parede? A que

	este efeito se deve?
A19	<i>Aumenta a frequência quando se aproxima da parede, e ao se afastar a frequência diminui. Há então interferência entre a onda de maior frequência e a de menor ocorrendo então o batimento.</i>
A7	<i>Quando se aproxima da parede o som fica mais agudo e quando se afasta o som fica mais grave, havendo então uma variação na frequência percebida. A interferência dessas duas ondas sonoras de frequências diferentes permite perceber em alguns momentos o Batimento na posição que eu me encontro.</i>
A2	<i>A frequência aumenta quando se aproxima da parede, e diminui quando se afasta. Isso se deve ao efeito Doppler, a interferência dessas duas diferentes ondas dá como resultado o efeito Batimento.</i>
A11	<i>Quando se aproxima da parede a frequência aumenta, quando se afasta a frequência diminui, a interferência das duas ondas dá como resultado o efeito Batimento que é o que se percebe.</i>

Baseados em dados como os da Tabela V.1 e em nossas observações, percebemos um amadurecimento dos alunos especialmente em relação a dois aspectos:

- i) os alunos se mostraram cada vez mais engajados nas atividades. Apesar de que desde as primeiras aulas eles já se mostrassem bastante motivados e envolvidos, à medida que as atividades progrediram, o entusiasmo aumentou e os grupos passaram a trabalhar mais harmoniosamente;
- ii) as respostas passaram a apresentar maior riqueza conceitual e consistência lógica, ainda que por vezes com erros de Física. Enquanto inicialmente, ainda que insistíssemos, os alunos tendiam a responder laconicamente e não apresentavam argumentos coerentes, no decorrer das atividades a profundidade da explanação melhorou consideravelmente.

Esses resultados, aliados aos resultados quantitativos, nos levam a considerar a experiência didática exitosa. Passamos, então, às nossas considerações finais.

VI. Comentários finais e conclusões

Uma série de fatores contribuiu para que nosso trabalho tivesse alcançado, de maneira geral, os bons resultados descritos no Capítulo V. Em particular, consideramos que podemos atribuir o sucesso aos seguintes principais fatores:

- como não há um currículo obrigatório a ser cumprido, e não há em nossa escola qualquer pressão da Direção no sentido de se trabalhar com todos os conteúdos do programa de vestibular para ingresso em universidades, não nos apressamos no desenvolvimento das atividades. Em alguns casos, o tempo despendido superou as nossas expectativas, mas ao respeitarmos o ritmo de trabalho dos alunos, demos-lhes melhores condições para a aprendizagem;

- a metodologia proposta enfatizou as discussões em pequenos e grande grupo, em vários momentos, tendo como resultados motivação e engajamento intelectual do aluno;

- a contextualização dos temas sob estudo, iniciando com uma questão desafio à qual os alunos conseguiam atribuir significado, despertou o interesse dos alunos e os motivou a apresentar exemplos ou questões relativas aos tópicos em estudo;

- o encadeamento das atividades de modo que o aluno pudesse relacionar os conceitos aprendidos nas atividades anteriores com a que estava em execução, possivelmente contribuiu para a aprendizagem significativa e para a motivação do aluno;

- dentro de um mesmo guia foram realizadas várias atividades sobre um mesmo assunto, permitindo diferentes formas de análise do problema proposto, por vezes com a utilização de gráficos, outras vezes com desenhos, e, especialmente, através de experimentos reais e virtuais. Procuramos, também, discutir as visões macroscópica e microscópica sobre propagação de ondas, enriquecendo as possibilidades de aprendizagem dos conceitos envolvidos; no caso de experiências reais, também utilizamos um *software* de análise de som;

- a escola mesmo sendo pública dispunha em suas dependências de um sistema multimídia que facilitou as apresentações e discussão em grande grupo;

- a turma de alunos da terceira série experimental e de controle apresentava maturidade na busca por aprendizado;

- todas as atividades tiveram bom fechamento, pois ao final de cada uma delas todos os integrantes da sala discutiam sobre os resultados obtidos, as respostas dadas às várias questões e os conceitos mais relevantes que foram levantados, retomando a questão central, respondida de forma consensual pelo grande grupo.

Mesmo o trabalho tendo surtido efeitos positivos também tivemos alguns empecilhos que, em certos momentos, prejudicaram seu andamento, sendo os principais deles:

- a experiência didática ocorreu em uma época de reforma da escola e, como consequência, nem sempre pudemos utilizar a sala de informática;

- a preocupação dos alunos com o vestibular, questionando por algumas vezes se haveria tempo depois para ver mais conteúdos constantes dos programas de vestibular;

- algumas desistências durante o semestre letivo tanto na turma em que foi feita a experiência didática quanto na turma de controle, apesar de que essas desistências fiquem dentro dos padrões usuais;

- como a experiência ocorreu em uma turma do curso noturno, em que a maioria dos alunos trabalha durante o dia, muitas vezes os alunos se atrasavam ou não compareciam à aula.

Nosso material instrucional foi elaborado partindo de conceitos epistemológicos contemporâneos, tendo como referência as ideias de Laudan, levando-nos a, não apenas elaborar materiais para atividades experimentais, mas também contextualizar o fazer ciências e utilizar tais conceitos dentro da construção do aprendizado do aluno. Sendo assim, temos a expectativa que o nosso trabalho possa trazer para muitos professores e alunos uma nova visão de como se fez e se faz ciências e que de alguma forma estes conceitos nos levem a repensar a postura do professor frente a ciências.

Esperamos que o nosso trabalho venha a ser de grande valia para professores dispostos a utilizar o material que desenvolvemos, e que surjam efeitos positivos nas suas aulas. De nossa parte, devemos reconhecer que esta experiência didática foi preciosa, provocando mudanças positivas e irreversíveis em nossa atuação docente.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, Jr., O. Mudanças Conceituais (ou cognitivas) na Educação em Ciências: revisão crítica e novas direções para pesquisa, *Ensaio- pesquisa em educação*, v. 3, n.1, p. 4-5, 2001.
- BORGES, A. T. Novos Rumos o Laboratório Escolar de Ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 19, n. 3, p. 291-313, abr. 2002.
- COLOMBO DE CUDMANI, L. Ideas epistemológicas de Laudan y su posible influencia en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 17, n. 2, p. 327-331, 1997.
- DUSCHL, R. A; GITOMER, D. H. Epistemological Perspectives on Conceptual Change: implications for educational practice. *Journal of Research in Science Teaching*, New York, v. 28, n. 9, p. 839-858, Nov. 1991.
- GIL-PEREZ, D.; FURIÓ MÁS, C.; VALDÉS, P.; SALINAS, J.; MARTÍNEZ TORREGROSA, J.; GUIASOLA, J.; GONZALEZ, E.; DUMAS-CARRÉ, A.; GOFFARD, M.; PESSOA DE CARVALHO, A.M.P. ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 17, n. 2, p. 311-320, 1999.
- HODSON, D. Hacia um enfoque más crítico del traje de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 12, n. 3, p. 299-313. 1994.
- HORNE, R. *Spectrogram*. Disponível em: <<http://www.monumental.com.rshorne/gram.html>>. Acesso em: 25 jul. 2009.
- KOHNLEIN, J. F. K.; PEDUZZI, L. O. Q. *Sobre a Concepção Empirista-Endutivista no Ensino de Ciências*. Florianópolis: Editora UFSC, 2002.
- MASSONI, N. T. *Epistemologia do século XX*, PPG em ensino de física, Textos de Apoio ao Professor de Física, n. 16- UFRGS, 2005.
- MOREIRA, M. A. *Teorias de Aprendizagem*. São Paulo: EPU, 1999. p. 112-116.
- MOREIRA, M. A.; OSTERMANN, F. *Teorias Construtivistas*. Porto Alegre: Instituto de Física - UFRGS, 1999.
- OLIVEIRA, L. M. de; VEIT, E. A.; SCHNEIDER, C. *Física e Música*. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/som/>>. Acesso em: 25 jul. 2009.
- PESA, M. A.; OSTERMANN, F. La ciencia como actividad de resolución de problemas: la epistemologia de Larry Laudan y algunos aportes para las investigaciones educativas en ciencias. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 19, p. 84-99, jun. 2002. N. especial.
- PESA, M. A; BRAVO, S. del V.;COLOMBO, E. M. *Investigando la luz e la vision*. Tucumán: Editora da UNT, 2003.

- SAAB, S. da C.; CÁSSARO, F. A. M.; BRINATTI, A. M..
Laboratório caseiro: tubo de ensaio adaptado como tubo de kundt para medir a velocidade do som no ar. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 22, n. 1, p.112-120, abr. 2005.
- SERÉ, M.-G.; COELHO, S. M.; NUNES A. D. O Papel da Experimentação no Ensino da Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 20, n.1, p. 31-42, abr. 2004.
- SILVA; W. P. S; SILVA, C. M. D. P. S. **Batimento**. Disponível em: <
<http://www.angelfire.com/ab5/extensao/batimento.html> >. Acesso em: 25 jul. 2009.
- SILVA, W. P. da; SILVA, M. D. P. S. e ; SILVA, D. D. P. S. e; SILVA, C. D. P. S. e. Um Software para Experimentos sobre Batimento de Ondas Sonoras. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 21, n.1, p.103-110, abr. 2004.
- SILVA, L. F. da; VEIT, E. A. **Ondas mecânicas**. Disponível em: <
<http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/simulacoes/ondas/index.html> >. Acesso em: 25 jul. 2009.
- SILVEIRA, F. L. da. A Filosofia da Ciência de Karl Popper: o racionalismo crítico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 13, n. 3, p. 197-218, dez.1996.
- 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**, Florianópolis, v. 19, p.7-27, jun. 2002. Ed. especial.
- VILLANI, A. Conceptual Change in Science and Science Education. **Science Education**, New York, v.76, n. 2, p. 223-237, Apr. 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**, Florianópolis, v. 14, n.1, p. 37-55, abr.1997.
- VYGOTSKY, L. S. **Pensamento e Linguagem**. 3. ed. São Paulo: Martins Fortes, 2003. 135 p.

Apêndice A

Guias de atividade para os alunos

Este apêndice contém os guias de atividades trabalhados pelos alunos. Para que o leitor tenha melhores condições de avaliar as nossas expectativas em relação às respostas às questões formuladas e também para auxiliar os professores que queiram usar este material, incluímos as nossas respostas, ao longo do roteiro. As respostas inseridas constam entre colchetes, com letra arial e espaçamento simples.

1º GUIA DE ATIVIDADE

Pulsos e ondas transversais em cordas e molas

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?

Para chegar à resposta desta questão, você vai inicialmente responder questões mais simples.

Responda individualmente às cinco primeiras questões

Responda às questões em forma de desenhos.

P.1) Imagine uma corda ou uma mola presa numa parede por uma de suas extremidades (veja a figura 1). 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.

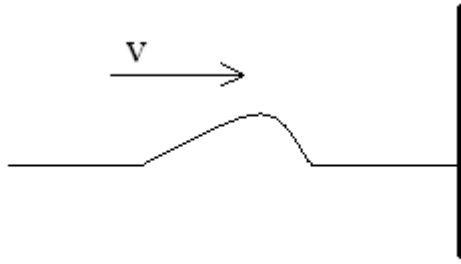


Figura 1;

[À medida que o pulso se propaga, a corda deforma-se e volta à posição inicial. A propagação do pulso provoca a propagação da energia potencial elástica assim como transporta energia cinética fornecida à corda pelo pulso. Pela conservação de energia mecânica, esta energia não pode desaparecer quando o pulso atinge a outra extremidade da corda. Quando o pulso atinge a extremidade presa, a corda exerce sobre a parede uma força para cima (ou para baixo). Pela terceira lei de Newton a parede exerce uma força igual em módulo e de sentido oposto sobre a corda. Essa força de reação gera sobre a corda um pulso que volta em sentido contrário ao pulso incidente. Como o pulso que chega e o que reflete tem sentidos opostos, estes se cancelam ao se encontrar no ponto da corda presa à parede.]

P.2) Se a extremidade da corda que estava fixa for presa a um anel que pode se mover verticalmente (veja a figura 2), 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.

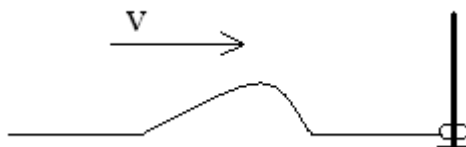


Figura 2;

[Quando o pulso chega à extremidade da corda presa ao anel, este sobe e puxa a corda, esticando-a produzindo um pulso de mesmo sentido e amplitude em relação ao pulso incidente. O pulso incidente e refletido se reforçam na extremidade presa ao anel; o pulso resultante neste ponto tem a elongação duplicada.]

P.3) Dois pulsos com mesmas características (intensidade, direção e sentido de propagação e direção de vibração) são emitidos em uma corda e em uma mola. Há alguma diferença na velocidade de propagação destes pulsos? Por quê?

[Sim, devido às tensões e densidades dos materiais, ou seja, quanto menos denso e mais

tenso for o material maior a velocidade de propagação da onda. Na mola a onda se propaga mais lentamente do que na corda quando tendo ambas aproximadamente a mesma densidade, a corda estiver mais tensa do que a mola.]

P.4) Em uma mola ou corda presa por uma de suas extremidades são emitidos dois pulsos com um intervalo de tempo entre o primeiro e o segundo (veja a figura 3). Os pulsos podem se encontrar em algum momento? Se a resposta for afirmativa, eles perturbam ou modificam de alguma forma a propagação um do outro? Se preferir responda através de desenho.

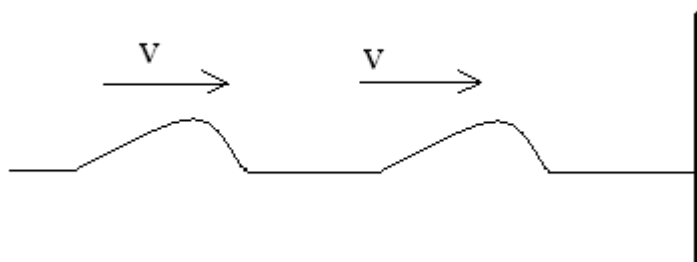


Figura 3;

[Sim eles se encontram, pois ocorre reflexão e como foram gerados dois pulsos, o pulso refletido encontra o segundo pulso incidente. Quando os dois pulsos se superpõem, cada um se comporta como se o outro não existisse (portanto um deles não perturba, modifica o outro de qualquer maneira); entretanto os dois pulsos superpostos determinam uma resultante que é a soma vetorial das características dos pulsos individuais. A superposição de dois pulsos é denominada "interferência". Na situação proposta, como o pulso que já foi refletido retorna invertido, haverá em um particular momento a superposição dos dois de forma que naquele momento o resultado das deformações na corda seja nulo; neste particular momento está ocorrendo o que se denomina de "interferência destrutiva".]

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.

[Sim, quando se estabelece uma onda estacionária ocorrendo ressonância no sistema (oscilador e corda) para uma dada frequência apropriada. Sendo assim é possível para frequências bem determinadas não se ter em certos pontos da corda oscilações. Pontos da corda que não oscilam são denominados nós ou nodos.]

As questões G.1 e G.2 devem ser discutidas em grupo.

Vocês devem discutir as predições de cada componente e confrontar umas com as outras.

G.1) As respostas das questões anteriores que você considera como corretas devem ser expostas aos membros do grupo. Discuta com seu grupo sobre suas previsões. As suas respostas estão de acordo com a de seus colegas?

G.2) O grupo deve chegar a um modelo final para cada questão anterior, ou seja, uma ideia final. Qual seria este modelo ou ideia em relação às cinco questões anteriores?

ATIVIDADE EXPERIMENTAL

A atividade experimental consiste em:

- emitir pulsos para se propagar em cordas e molas em diferentes tensões ;
- emitir dois pulsos tendo sentidos iguais vibração e logo após emitir dois pulsos em diferentes direções de oscilação, analisar a superposição de pulsos.
- oscilar constantemente (modificando a frequência de oscilação) a mola presa por uma de suas extremidades e analisar o comportamento das ondas geradas por esta oscilação;
- ao final da atividade você deve dominar os conceitos de reflexão interferência e ondas estacionárias.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Estas questões devem ser respondidas em grupo

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

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?

[À medida que o pulso se propaga, a corda deforma-se e volta à posição inicial. A propagação do pulso provoca a propagação da energia fornecida à corda pelo agente que a perturbou. Quando ele atinge a extremidade presa à parede exerce sobre a parede uma força para cima (ou para baixo). Pela terceira lei de Newton, a parede exerce uma força igual em módulo e de sentido oposto sobre a corda. Essa força de reação gera sobre a corda um pulso que volta em sentido contrário ao pulso incidente. Como o pulso que chega e o que reflete tem sentidos opostos estes se cancelam ao se encontrar no ponto em que a corda está presa na parede.]

Agora a extremidade da mola que inicialmente estava presa, passa a estar móvel

com um anel leve preso a ela 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 predições? Em caso negativo, em que se diferenciam suas predições e observações? E em caso afirmativo, o que se confirma?

[Quando o pulso chega à extremidade da corda presa ao anel, este sobe e puxa a corda, esticando-a produzindo um pulso de mesmo sentido e amplitude em relação ao pulso incidente. O pulso incidente e o refletido se reforçam na extremidade presa ao anel tendo neste ponto a elongação duplicada.]

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?

[Sim, quanto mais alongada estiver a mola maior a velocidade de propagação.]

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

[Quanto mais tenso o material, menor a densidade deste e maior a velocidade de propagação.]

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 encontram?

[Há superposição no momento em que estão se encontrando, e acontecerá interferência destrutiva em um particular instante, pois o pulso refletido muda de sentido em relação ao incidente.]

Esta parte da atividade deve ser realizada em grupos

Observe as ilustrações de Russel, sobre um pulso se propagando em uma corda presa por uma de suas extremidades e outro se propagando em uma corda solta por uma de suas extremidades.

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.htm

1

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

clique em animação 1 (como demonstrado na figura 4) após inicie o processo, analise a superposição que ocorre.

clique em animação 2 após inicie o processo, analise a superposição que ocorre.

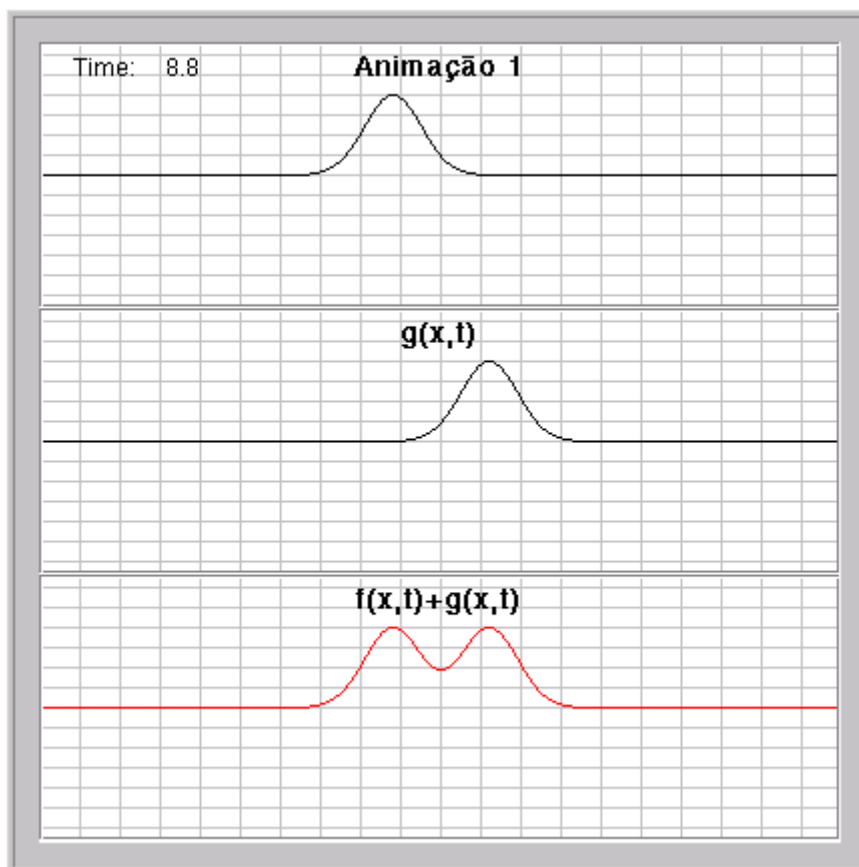


Figura 4;

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 estão se encontrando?

[Se estiverem em fase há uma interferência construtiva e se estiverem fora de fase há uma interferência destrutiva.]

V.2) Quando os pulsos se encontram perturbam ou modificam de alguma forma a propagação um do outro? O que ocorre com a propagação dos pulsos após os terem se encontrado? Confirma com suas previsões?

[Não há nenhum tipo de perturbação ou modificação na propagação dos pulsos depois que eles se encontram. Ou seja, cada um dos pulsos se propaga como se o outro não existisse.]

V.3) Qual das duas animações é possível relacionar com o experimento realizado com a mola presa por uma de suas extremidades quando emitido dois pulsos transversais de mesma direção de vibração com um intervalo de tempo entre cada pulso?

[Com a segunda animação, pois o pulso que se reflete volta invertido em relação ao incidente devido à ação-reação do pulso com a parede e da parede com o pulso. Sendo assim a interferência é destrutiva.]

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

[A amplitude na interferência construtiva é a soma das duas amplitudes que estão interferindo. A amplitude na interferência destrutiva é a subtração das amplitudes.]

Esta parte da atividade deve ser realizada em grupos

Com a mola relaxada, oscilá-la de tal maneira que se formem ondas estacionárias com as seguintes características:

- no centro da mola ocorra uma oscilação com máxima amplitude (antinodo);
- no centro da mola ocorra um ponto que quase não oscile (um nó);
- formem-se dois pontos sem oscilação entre as extremidades.

E.7) Na extremidade presa há algum tipo de oscilação? Qual a relação com os pontos de oscilação nula?

[Não, pois como a onda que chega e a que reflete têm sentidos opostos devido à força que a parede exerce sobre a mola, há cancelamento quando se encontram no ponto da mola presa à parede. Sendo assim os pontos de oscilação nula são aqueles em que ocorre o encontro de ondas fora de fase (calha com crista e crista com calha).]

E.8) É com qualquer frequência de oscilação que se consegue o comportamento anteriormente referido?

[Não, os valores das frequências não são contínuos e sim discretos. Apenas para valores de frequências apropriadas ocorre uma onda estacionária.]

E.9) O que ocorre com os pontos de oscilação nula à medida que a frequência é aumentada?

[À medida que encontramos a ressonância ou ondas estacionárias na mola com frequências cada vez mais elevada o número de nós também aumenta.]

No endereço

<http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/simulacoes/ondas/transversais/html/harmonico1.html>

Ao clicar no menu iniciar tem-se três animações. A superior e a intermediária representam ondas que vão e que vêm separadamente. Na animação inferior é ilustrado o resultado da superposição das ondas mostradas nas animações superior e intermediária como representado nas figuras 5 e 6.

Harmônico Fundamental (n=1)

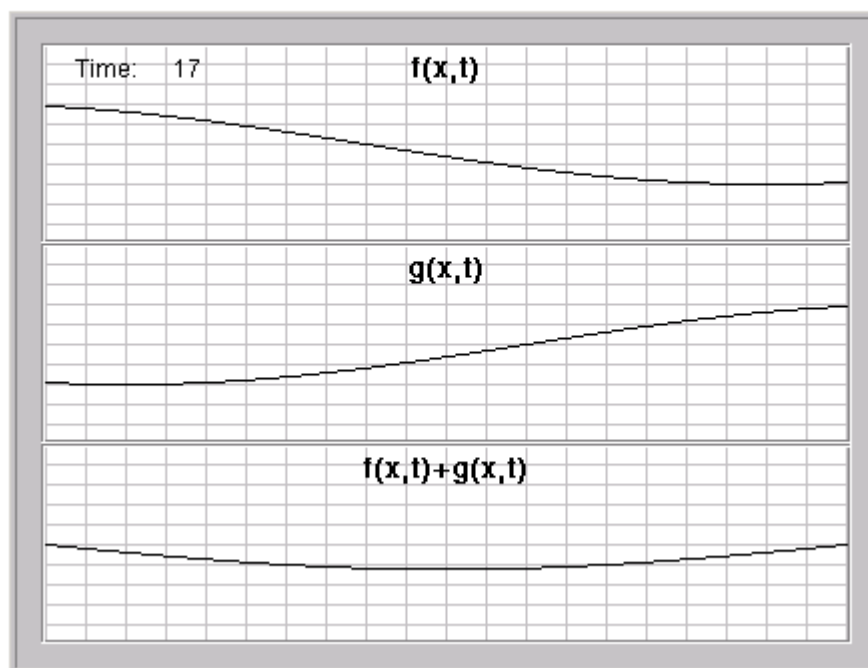


Figura 5;

Segundo Harmônico (n=2)

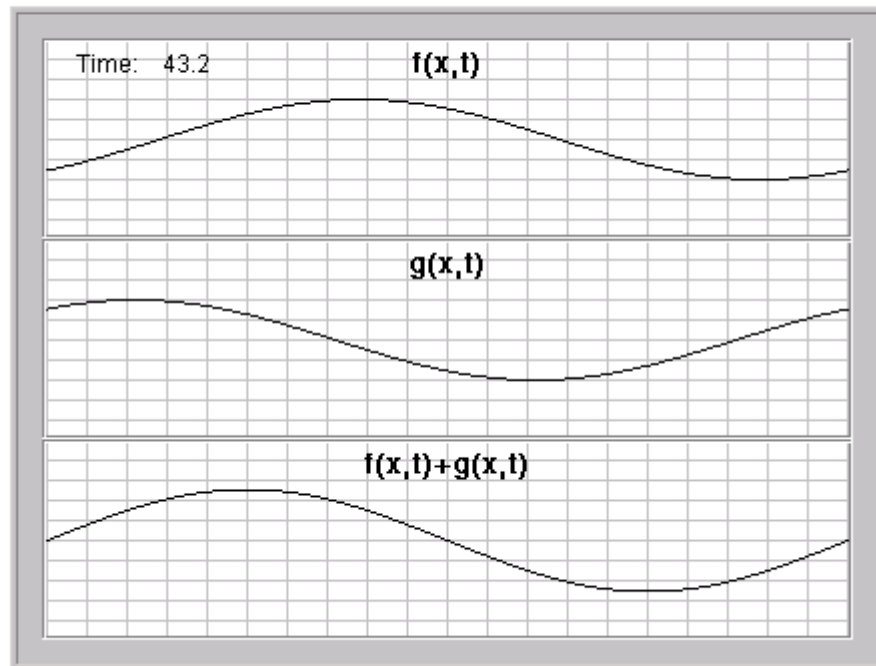


Figura 6;

V.5) O que ocorre nas duas extremidades da animação inferior para $n = 1$? A interferência nestes pontos é construtiva ou destrutiva? Esta interferência muda com o tempo?

[As cordas nas extremidades não oscilam, (observe a figura 5) pois neste ponto há sempre uma interferência destrutiva (crista com calha ou vice-versa). Nestas extremidades nunca ocorre oscilação.]

V.6) O que ocorre no centro da animação inferior para $n = 1$? A interferência nestes pontos é construtiva ou destrutiva? Esta interferência muda com o tempo? Qual a relação entre a amplitude (distância entre ponto central de oscilação até o ponto máximo desta) de onda das duas primeiras em relação à terceira?

[Observe a figura 5, no centro da corda ocorre oscilação com máxima amplitude formando-se um anti-nó, pois sempre que há uma calha na primeira animação também há uma calha na segunda animação e sempre que há uma crista na primeira animação também há uma na segunda. A amplitude resultante na terceira animação que nada mais é que a superposição das duas primeiras é a soma das duas amplitudes das ondas.]

- No mesmo endereço clicar em $n = 2$.

V.7) Além das extremidades, há algum ponto na corda em que não ocorre oscilação? Se a resposta for afirmativa, em quantos?

[(observe a figura 2) Sim, no centro da corda há um nó.]

V.8) Que diferença você nota entre a situação ilustrada em $n = 1$ e em $n = 2$?

[Há um nó a mais localizado no centro da corda.]

-Novamente no mesmo site clicar em $n=3$.

V.9) Além das extremidades em quantos lugares mais não há oscilação?

[Em dois lugares não há oscilação. Havendo nestes pontos interferência destrutiva.]

V.10) Que diferenças você nota no comportamento da corda que é ilustrado nos casos $n = 1$, $n = 2$, $n = 3$ e $n = 4$?

[À medida que o valor de n vai aumentando, o número de nós na corda aumenta também.]

V.11) Que relação há entre este experimento virtual com o experimento que trata de “oscilar a mola para formar ondas estacionárias com características...”?

[No experimento com mola à medida que há aumento das frequências adequadas formam-se ondas estacionárias com mais nós de interferência, então quando aumentamos o valor de n na animação virtual se está na verdade aumentando a frequência de ressonância. O nome que se dá para estas frequências que levam a formação de nós entre as extremidades são harmônicos.]

Discutir as questões que se seguem por todos os componentes da sala de aula.

G.4) A turma toda com o professor deve analisar cada efeito e diferenciá-los um dos outros, ou seja, em que momento há reflexão, superposição, interferência e ondas estacionárias.

Com todas as análises e informações que obtiveram, você já tem condições de responder à problemática inicial.

G.5) 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?

[A oscilação por um longo intervalo de tempo se dá porque a corda está na frequência de ressonância onde as ondas interferem-se constantemente devidas as reflexão sucessivas nas extremidades fixas formando-se uma onda estacionária. Se nas extremidades a corda não é fixa e a corda não está tencionada, não há como produzir uma onda.]

2º GUIA DE ATIVIDADE

Propagação de ondas na água

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?

Para chegar à resposta desta questão, você vai inicialmente responder questões mais simples.

Responda individualmente as quatro primeiras questões

P.1) Imagine um pedaço de madeira flutuando em um lago calmo onde foi gerada uma onda pelo vento. Que tipo de perturbação este pedaço de madeira vai sofrer quando a onda passar por ele? Justifique.

[Vai subir e descer e ao mesmo instante ir de um lado para o outro voltando ao estado inicial. O movimento acontece simultaneamente na vertical e horizontal tendo como resultando um movimento elíptico.]

P.2) Faça desenhos que representem as trajetórias das porções de água que estão no limite entre ar e água quando uma onda passa por elas.

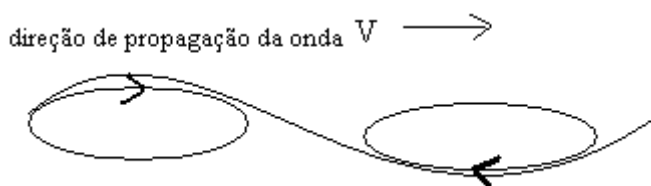


Figura 1 (resposta à questão P.2);

P.3) Quando um surfista está na crista da onda este se desloca para a costa. Qual é a explicação que você fornece para esse fenômeno?

[Quando ele está na crista da onda a água se move para frente levando o surfista junto.]

P.4) Quando um surfista quer fugir da rebentação atingindo a região onde as ondas não rebentam, ele sempre utiliza uma correnteza mar a dentro que acontece na calha da onda. Devido ao que essa correnteza acontece?

[Quando se encontra na calha da onda a água desta região assim como quem está em cima dela se move para trás, ou seja, no sentido de alto mar.]

As questões G.1 e G.2 devem ser discutidas em grupo.

G.1) As respostas das questões anteriores que você considera como corretas devem ser expostas aos membros do grupo. Discuta com seu grupo sobre suas predições. As suas respostas estão de acordo com a de seus colegas?

Vocês devem discutir as predições de cada componente e confrontar umas com as outras.

G.2) O grupo deve chegar a um modelo final para cada questão anterior, ou seja, uma ideia final. Qual seria este modelo ou ideia em relação às cinco questões anteriores?

ATIVIDADE EXPERIMENTAL

A atividade experimental consiste em:

-uma atividade virtual que se encontra no endereço

http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/simulacoes/ondas/transversais/onda_agua.htm onde é possível perceber o comportamento de uma porção de água (representada por um ponto vermelho) quando uma onda passa;

- analisar a demonstração real em que uma folha flutua em uma vasilha com água e, com uma fraca corrente de ar, se provoca uma onda.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

As atividades experimentais e as perguntas que as acompanha deverão ser realizadas

em grupos.

Estas questões devem ser discutidas com os integrantes do grupo.

V.1) No endereço

http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/simulacoes/ondas/transversais/onda_agua.htm inicie a animação de propagação de onda na água, como na figura 2, o tipo de movimento apresenta o ponto vermelho quando a onda passa por ele?

[Este apresenta um movimento elíptico.]

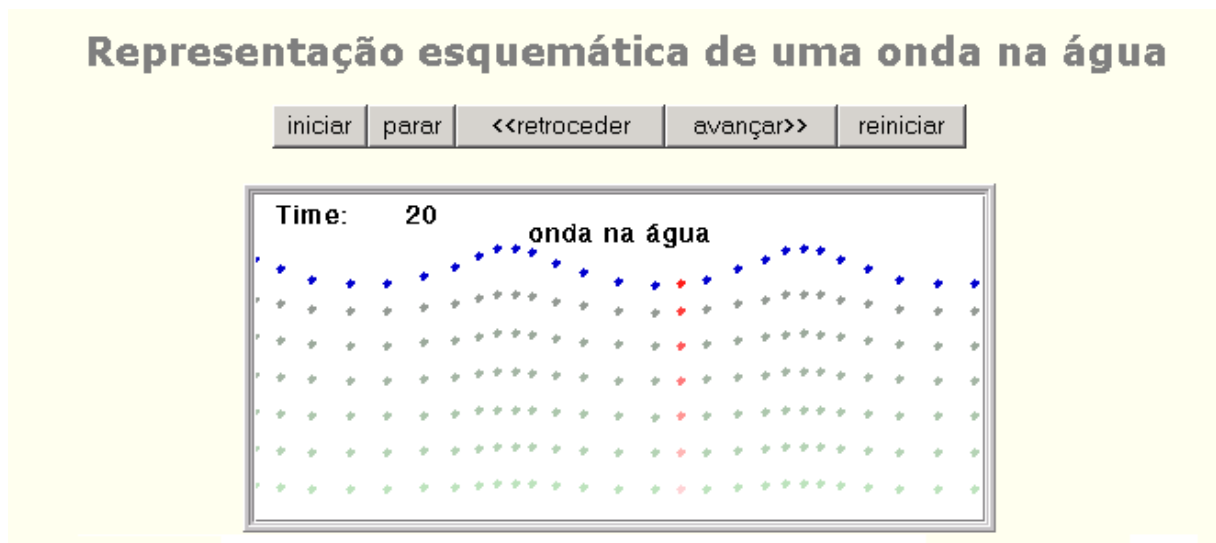


Figura 2

E.1) Observe também na vasilha que tipo de perturbação ocorre com a folha quando a onda passa por ela? Confere com suas predições? Em caso negativo, em que se diferenciam suas predições e as observações? E em caso afirmativo, o que se confirma?

[Esta sobe, desce e ao mesmo tempo se desloca para frente e para trás.]

V.2) Focalize o comportamento do ponto vermelho que representa uma porção de água quando este está na calha da onda.

a) Em que direção e sentido esta porção de água se desloca?

[Esta se desloca para trás.]

b) Que tipo de associação é possível fazer com a questão do surfista que está tentando atingir a região além da rebentação?

[Quando o surfista se encontra no vale da onda as partículas de água e o surfista que aí se encontra se deslocam para trás, assim como o ponto vermelho quando está nesta posição.]

c) Confere com suas predições? Em caso negativo, em que se diferenciam suas predições e as observações? E em caso afirmativo, o que se confirma?

V.3) Focalize o comportamento do ponto vermelho quando este está na crista da onda.

a) Em que direção e sentido esta porção de água está se deslocando?

[Esta está se deslocando para frente.]

b) Que tipo de associação é possível fazer com o surfista que se encontra na crista da onda?

[Este se desloca para frente em direção à praia, assim como o ponto vermelho quando se encontra nesta posição.]

c) Confere com suas predições? Em caso negativo, em que se diferenciam suas predições e as observações? E em caso afirmativo, o que se confirma?

Estas questões devem ser discutidas por todos os integrantes da sala de aula.

G.3) Discuta com seus colegas de sala sobre as conclusões do seu grupo e relacione com as de todos os grupos. As hipóteses levantadas pelo grupo estão de acordo com a de outros grupos? Se a resposta for afirmativa em qual(is)?

Estas questões devem ser discutidas por todos os integrantes da sala de aula.

Com todas as análises e informações que obtiveram, vocês já tem condições de responder à problemática inicial.

G.4) 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?

[Porque as porções de água que estão na calha se deslocam para trás em sentido do alto mar levando o surfista junto com estas. Já na crista da onda as porções de água que estão nesta região se deslocam para frente, ou seja, no sentido da costa, levando o surfista junto com estas porções.]

APROFUNDAMENTO

Questões a serem discutidas por todos os integrantes da sala de aula.

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?

[Em alto mar o movimento circular da água quando a onda passa tem o raio da trajetória das partículas diminuído conforme a profundidade aumenta. Finalmente a uma profundidade maior que $\lambda/2$. as partículas de água não mais oscilam, ou seja, em alto mar, se mergulharmos suficientemente no oceano, encontraremos mar calmo, mesmo quando na superfície há ondas com grande amplitude.]

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

[Não importa a direção de onde as ondas venham, elas acabam encurvando ao chegar mais perto da costa de modo a chegarem à praia numa direção quase perpendicular a ela. Quando uma onda se aproxima da costa com direção que faz um ângulo qualquer com a costa do mar, as partes mais próximas da costa passam a reduzir sua velocidade, pois sentem o fundo mais cedo. Quando as outras partes da onda sentem o mesmo fundo a parte da frente já está reduzindo ainda mais sua velocidade, pois já se encontra mais à frente em profundidades ainda menores. Deste modo e de uma forma contínua a linha da onda vai sendo encurvada, de acordo com a figura 3.]

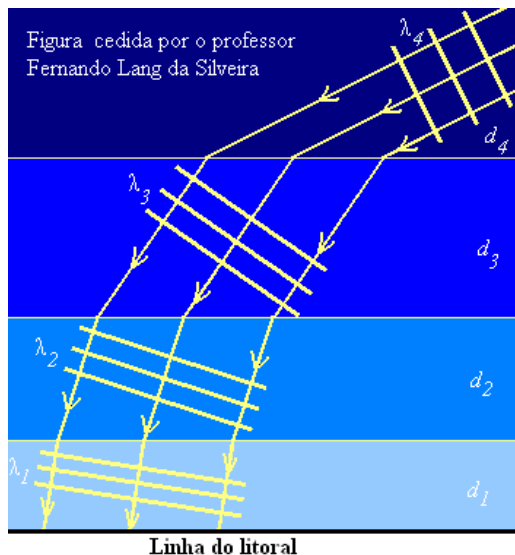


Figura 3

Algumas figuras e animação para discussão destas questões estão no site http://pt.wikipedia.org/wiki/Ondas_do_mar.

3º GUIA DE ATIVIDADE

Ondas sonoras estacionárias - Tubo de Kundt

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?

Para chegar à resposta desta questão, você vai inicialmente responder questões mais simples.

Responda individualmente as quatro primeiras questões

P.1) A extremidade de uma mola está fixa em uma parede. Os elos da outra extremidade são comprimidos e imediatamente soltos, de tal modo que um pulso se propaga na direção da mola. O que você poderá dizer sobre o comportamento de um dos elos? E sobre a distribuição dos elos no espaço?

[Quando o pulso passa por cada elo faz com que este se desloque para frente para trás e voltem à sua posição inicial. Os elos por onde o pulso vai passando sofrem aproximação devido ao pulso ter sido gerado por compressão dos elos da extremidade e depois do pulso ter passado os elos voltam as suas posições iniciais.]

P.2) Como o ar se comporta quando se propaga som por ele? É possível no vácuo a propagação do som? Por quê?

[As partículas de ar se aproximam e se afastam propagando assim a onda sonora. Não é possível a propagação no vácuo, pois não há matéria que possa sofrer as vibrações que possibilitam a propagação da onda sonora.]

P.3) Em cenas de filme ou desenhos animados quando taças de cristal ou até janelas de vidro se encontram em regiões onde há certo tipo de som ou música começam a vibrar e algumas vezes acabam por se romper. Será possível que o som pode causar este efeito sobre todos os objetos? Justifique.

[Não, somente se a intensidade sonora for suficiente e a frequência natural do material coincidir com uma das frequências do som emitido pela fonte sonora de modo que entrem em ressonância.]

P.4) Quando se tem onda sonora gerada de forma contínua em um tubo com umas das extremidades fechadas por uma parede rígida ocorre reflexão da onda sonora na extremidade fechada e rígida do tubo. A onda refletida e a onda incidente sofrem alguma

interferência quando se encontram? Se a resposta for afirmativa de que forma? Se preferir justifique através de desenho.

[Elas sofrem interferência, que em certos momentos é construtiva obtendo como resultado um som de amplitude ou intensidade elevada e em certos momentos há interferência destrutiva tendo como resultado um som de amplitude ou intensidade nula. Se as ondas sonoras entrarem em ressonância com a coluna de ar dentro do tubo se obterá como resultado uma onda estacionária. Quando se forma uma onda estacionária se obtém com resultado regiões onde as partículas de ar que aí estão localizadas sofrem grandes e constantes deslocamentos e regiões onde o ar sofre pouco ou nenhum deslocamento. Estes comportamentos não mudam com o tempo, ou seja, regiões onde as partículas de ar sofrem deslocamento assim permanecem e regiões onde as partículas de ar sofrem pouco ou simplesmente não sofrem deslocamento assim também permanece.]

As questões G.1 e G.2 devem ser discutidas em grupo.

G.1) As respostas das questões anteriores que você considera como corretas devem ser expostas aos membros do grupo. Discuta com seu grupo sobre suas previsões. As suas respostas estão de acordo com a de seus colegas?

Vocês devem discutir as previsões de cada componente e confrontar umas com as outras.

G.2) O grupo pode chegar a um modelo final para cada questão anterior, ou seja, uma ideia final. Qual seria este modelo ou ideia em relação às cinco questões anteriores?

ATIVIDADE EXPERIMENTAL

A atividade experimental consiste em:

- gerar uma onda sonora dentro de um tubo de ensaio que contém em seu interior pó de cortiça, utilizando para isso um apito de árbitro de futebol;
- analisar e discutir o comportamento do pó relacionando-o com a onda sonora que se propaga no ar em seu interior. Esta atividade é conhecida por tubo de Kundt adaptado.
- utilizar em vários momentos algumas simulações para relacionar com o experimento;
- determinar a frequência do apito utilizando um microfone e um programa de computador que permite a análise de sinais sonoros, chamado *Spectrogram*.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

As atividades experimentais assim como as animações e as perguntas que as acompanham deverão ser realizadas em pequenos grupos.

V.1) No endereço

http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/simulacoes/ondas/som/onda_sonora_fendt.htm

pode-se ver a representação do movimento microscópico do ar quando o som passa por ele. Selecione “um lado aberto” e varie a frequência. Como o ar se comporta em cada região dentro do tubo? Ao que se deve este comportamento? (Observe a figura 1 da animação).

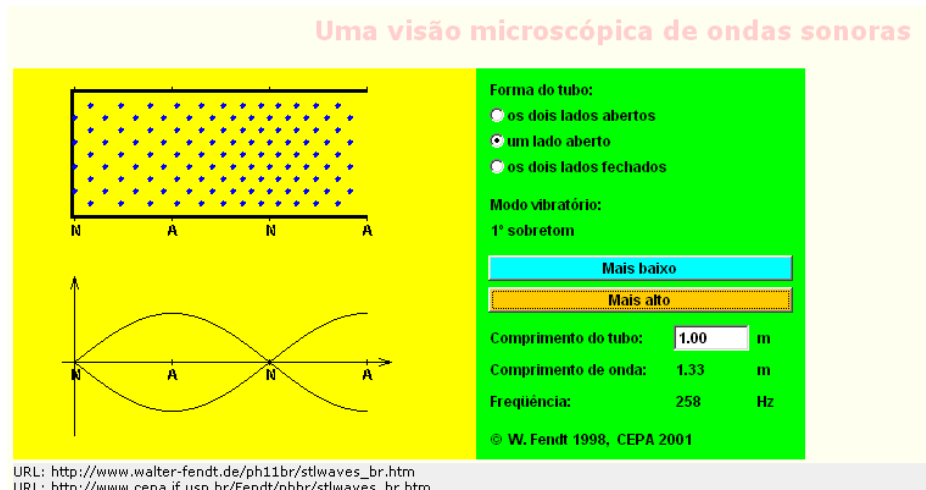


Figura 1

[Em certas regiões as partículas de ar sofrem pequenos deslocamentos ou nenhum deslocamento em torno de suas posições de equilíbrio, em outras regiões, estes deslocamentos são maiores ocorrendo afastamento e aproximação das partículas de ar de forma constante. Observando a figura 1 da animação é possível perceber que nas regiões onde o ar sofre grandes deslocamentos com relação ao ponto de equilíbrio o gráfico é representado por um anti-nó de deslocamento, e onde as partículas de ar não sofrem deslocamento em relação ao ponto de equilíbrio, o gráfico é representado por um nó de deslocamento.]

Montar o aparato experimental fechando a extremidade aberta do tubo com papel celofane^a, fixar o tubo, e utilizar o programa Spectrogram para determinar a frequência do apito (veja a figura 2). Soprar o apito na extremidade fechada com papel celofane.

^a http://www.walter-fendt.de/ph14br/dopplereff_br.htm

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.

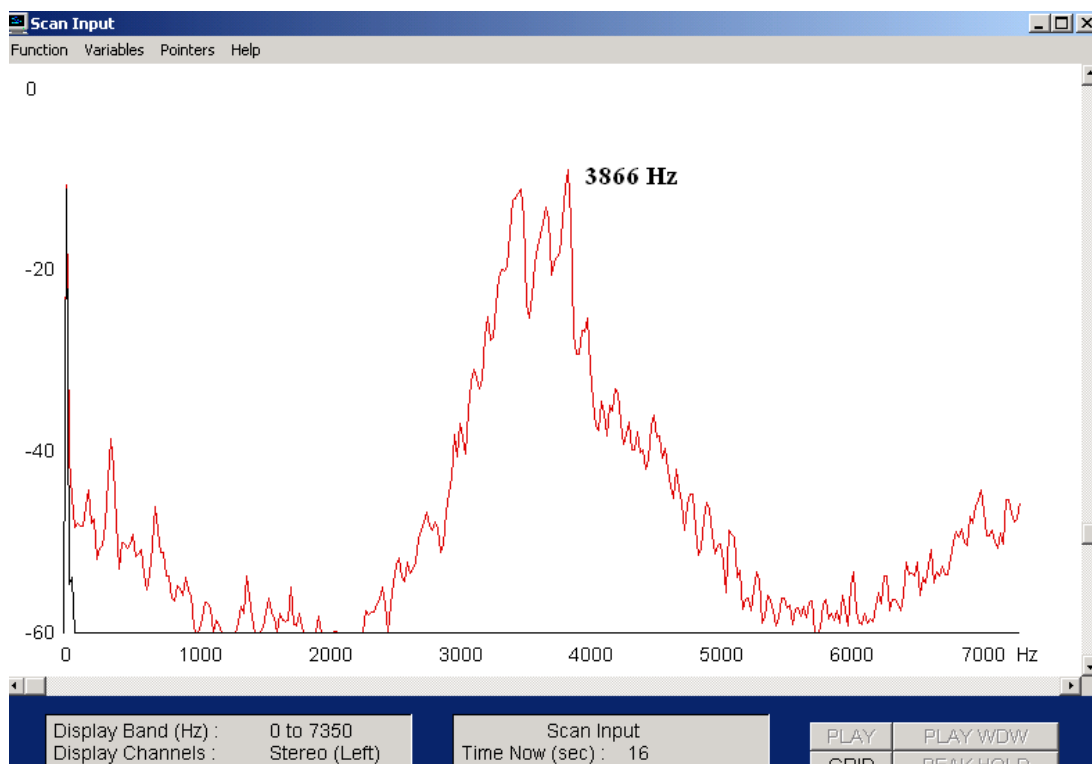


Figura 2

E.1) Quando se sopra o apito como descrito anteriormente o pó de cortiça sofre uma agitação. O que causa este efeito?

[A onda sonora estacionária que se estabelece no ar no interior do tubo agita o pó de cortiça, redistribuindo-o de maneira não uniforme ao longo do tubo.]

E.2) O pó de cortiça se comporta da mesma forma em todas as regiões? Se a resposta for negativa, no que se diferencia de região para região? O que faz com que esta diferença aconteça? Como se observa no experimento o pó de cortiça se apresenta distribuído de maneira não uniforme ao longo do tubo. Em algumas regiões do tubo há um acúmulo de pó, enquanto em outras há uma rarefação. Como se explica essa distribuição do pó de cortiça?

[Nos antinodos de deslocamento da onda estacionária no ar as partículas de cortiça são agitadas e acabam por se depositar próximas aos nodos de deslocamento. Nas proximidades dos nodos de deslocamento as oscilações do ar possuem amplitudes pequenas quando comparadas com a amplitude de oscilação nos antinodos e, portanto o pó de cortiça em contato com o ar é “varrido” para os locais onde o ar oscila pouco. Dessa forma pode-se observar aproximadamente onde se encontram os nodos e antinodos de deslocamento da onda estacionária e, portanto, se estimar o comprimento de onda da onda estacionária.]

Explorar simulações sobre ondas sonoras e relacionar com atividade experimental desenvolvida.

V.2) Qual a relação possível com os pontos representando o ar na animação em cada região com o pó de cortiça do experimento realizado?

[Onde há acúmulo de cortiça indica que não há deslocamento das partículas de ar nesta região, não havendo então transferência de agitação do ar para o pó localizado ali se formando um nó de deslocamento representado na animação. Nas regiões onde as partículas de ar sofrem grandes deslocamentos de forma constante a cortiça também vibra devido à transferência de agitação do ar para a cortiça ocorrendo então nesta região um anti-nó de deslocamento das partículas de ar como representado na animação.]

Analisar a relação entre o comprimento do tubo e o comprimento de onda para que se estabeleça uma onda estacionária através de animações.

V.3) Qual é a relação entre o comprimento de onda no modo fundamental com o comprimento do tubo? Observe a figura 3 e a simulação no endereço http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/simulacoes/ondas/som/harmonicos_fendt.htm o movimento microscópico e o gráfico resultante deste, selecionar a frequência mais baixa e tubo com um lado fechado. Escreva a relação matemática em forma de fração entre o comprimento L do tubo e o comprimento de onda λ .

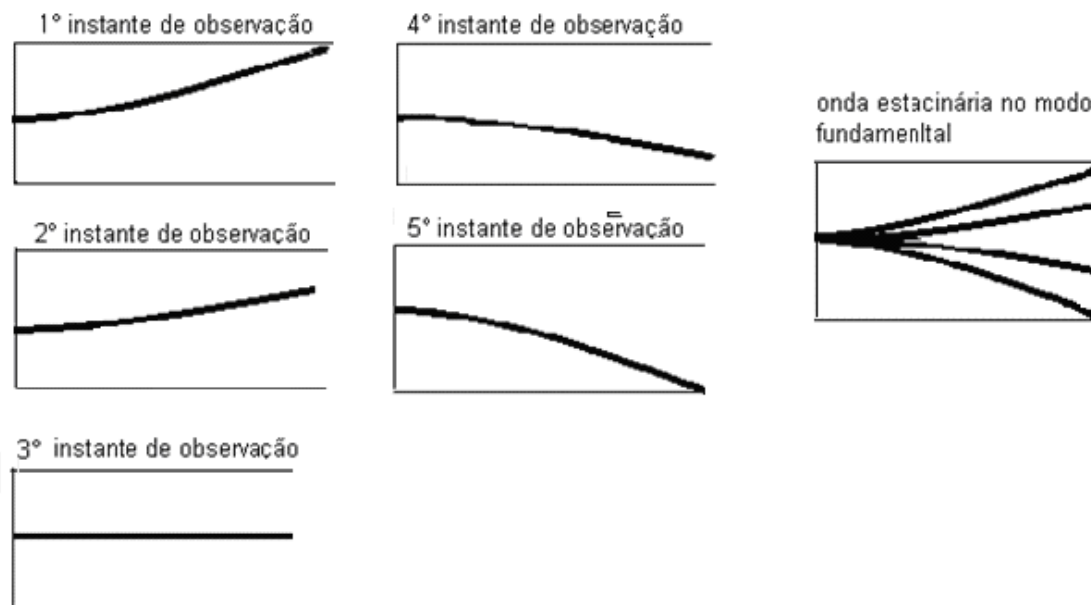


Figura 3

[Em um tubo com uma de suas extremidades fechadas por uma superfície rígida terá sempre um nó da onda de deslocamento formado nesta extremidade, ou seja, o movimento microscópico das partículas nesta região é nulo. Na extremidade aberta haverá liberdade para oscilar e sempre haverá um anti-nó de deslocamento nesta região. A maior onda estacionária que pode se formar em um tubo com uma extremidade fechada por uma superfície rígida é uma onda que contém um anti-nó e um nó de deslocamento. O comprimento do tubo é igual a um quarto de comprimento de onda, $L = \lambda/4$.]

V.4) Se a onda sonora estacionária formada no mesmo tubo tiver dois nodos de deslocamento, qual é a nova relação entre o comprimento do tubo e o comprimento de onda? Observe a figura 4 e na mesma simulação da questão anterior, analise o movimento microscópico e o gráfico resultante deste selecionando a segunda frequência de ressonância, isto é, correspondente ao segundo modo de vibração do tubo com um lado fechado. Escreva esta relação matemática em forma de fração entre o comprimento L do tubo e o comprimento de onda λ .

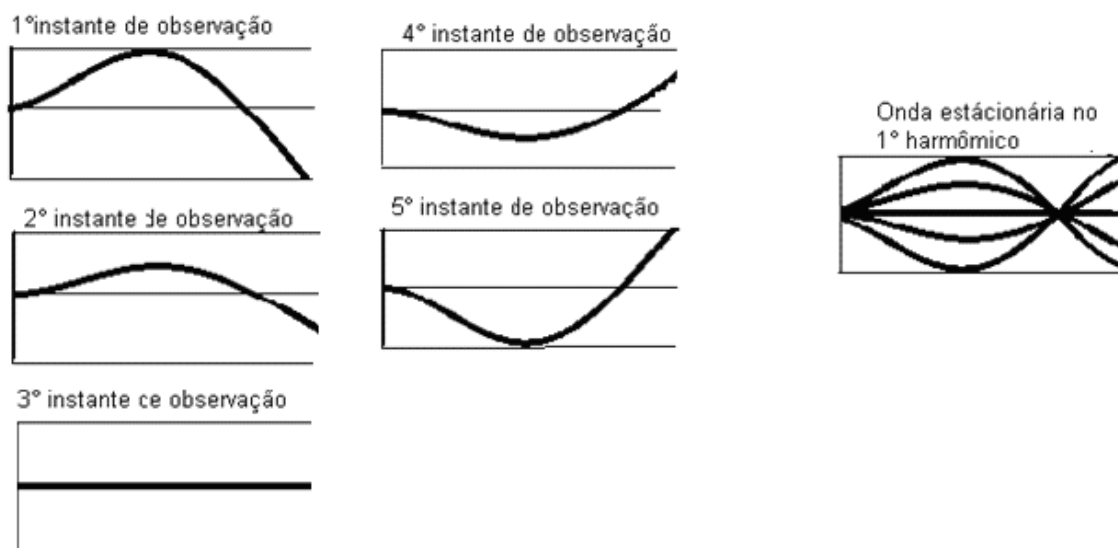


Figura 4

[A segunda onda estacionária que pode se formar em um tubo com uma extremidade fechada é uma onda que contém dois anti-nós e dois nós de deslocamento, sendo que um nó está localizado na extremidade fechada, pois nesta região o ar não tem liberdade para se deslocar. Um anti-nó de deslocamento se forma na extremidade aberta, pois nesta o ar está livre para vibrar. O comprimento do tubo é igual a três quartos de comprimento de onda. Ou seja, $L = 3\lambda/4$.]

V.5) Se a onda sonora estacionária formada no mesmo tubo tiver dois nodos de deslocamento, qual é a nova relação entre o comprimento do tubo e o comprimento de onda? Observe as figuras abaixo e na mesma simulação da questão anterior, analise o movimento microscópico e o gráfico resultante deste selecionando a segunda frequência de ressonância, isto é, correspondente ao segundo modo de vibração do tubo com um lado fechado. Escreva

esta relação matemática em forma de fração entre o comprimento L do tubo e o comprimento de onda λ .

[A terceira onda estacionária que pode se formar em um tubo com uma extremidade fechada é uma onda que contém três anti-nós e três nós de deslocamento. Esta corresponde a um comprimento de onda mais um quarto de comprimento de onda, $L = 5\lambda/4$.]

V.6) Como fica a expressão que relaciona o comprimento do tubo com o número n de nós e o comprimento de onda na sua uma forma geral?

[$L = n\lambda/4$, onde n é um número ímpar. Portanto $n = 1$ ou $n = 3$, ou $n = 5$ e assim por diante.]

E.4) Utilizando uma régua é possível ter a distância entre dois nós consecutivos ou dois anti-nós. Meça esta distância e anote o valor encontrado. O que este valor está indicando?

$d = \dots$

[A distância entre dois nós consecutivos indica meio comprimento de onda. Sendo $d = 6\text{cm}$ então o comprimento de onda vale 12cm ou $0,12\text{ m}$.]

E.5) O que ocorre com o pó de cortiça na extremidade fechada e rígida do tubo? Por que isso ocorre?

[Fica acumulado. Como nesta extremidade do tubo a parede é rígida, o ar aí não tem liberdade para se movimentar e junto a ela sempre teremos um nó de deslocamento.]

E.6) O modo fundamental em um tubo fechado por uma superfície rígida em uma de suas extremidades ocorre quando há apenas um nó e um anti-nó no interior do tubo. Você está percebendo isto acontecer em seu experimento?

[Não, formam três anti-nós e três nós de deslocamento. A onda estacionária que se forma é devido a um harmônico do modo fundamental. Para gerar o modo fundamental o comprimento do tubo deveria ser maior ou a frequência fornecida ser reduzida.]

E.7) Utilizando o apito e o programa *Spectrogram* percebe-se que o valor que pegamos como sendo a frequência do apito é sempre o valor de maior valor, ou seja, o modo fundamental. Há outros picos de frequência que indicam que o som do apito é composto por mais de uma frequência. Mesmo que o som do apito seja composto por várias ondas de frequências diferentes quando este som chega aos ouvidos não se percebe as ondas sonoras de diferentes frequências de forma individual e sim um som resultante de todas estas. O que se

pode afirmar sobre a velocidade das ondas que compõem o som que saem do apito e chegam aos nossos ouvidos?

[O som composto por varias ondas sonoras de diferentes frequências saem do apito e chegam aos ouvidos juntas, pode-se concluir então que a velocidade das ondas sonoras de diferentes frequências é a mesma.]

E.8) O que se pode concluir em relação à velocidade de propagação do som no ar?

[É possível concluir que a velocidade do som no ar, não importa qual seja a sua frequência, tem um mesmo valor.]

V.7) Observe novamente experimento virtual no endereço

http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/simulacoes/ondas/som/onda_sonora_fendt.htm modificando a frequência. Observe no gráfico abaixo da animação. O que ocorre com o comprimento de onda se a frequência for aumentada?

[O comprimento de onda é reduzido.]

E.9) Quando uma onda avança um comprimento de onda (λ), uma partícula do meio executa uma oscilação; sabe-se que o intervalo de tempo para executar uma oscilação é o período (T). Portanto a velocidade de propagação da onda é $v = \frac{\lambda}{T}$ ou ainda $v = \lambda f$, onde f é a frequência da onda. Conhecendo a frequência das ondas sonoras assim como o comprimento de onda dentro do tubo calcule a velocidade do som?

$[v = \lambda \cdot f$, sendo $\lambda = 0,12m$ e $f = 2860Hz$ então $\longrightarrow V = 0,12 \cdot (2860) = 343,2 \frac{m}{s}$
velocidade do som no tubo é de 343,2m/s]

V.8) Volte para o endereço

http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/simulacoes/ondas/som/onda_sonora_fendt.htm e modifique o comprimento do tubo. Para se formar uma onda estacionária no novo comprimento, o que ocorre com o comprimento de onda e com a frequência? Por quê?

[Como $\lambda = 4L$ à medida que se aumentar o comprimento do tubo o comprimento de onda da onda estacionaria que se forma aumentará também. Como a frequência é $f = v/\lambda$ conclui-se que se o comprimento do tubo aumenta a frequência reduz.]

Com uma flauta doce (como a da figura 5) fechar todos os orifícios e utilize o programa Spectrogram para observar o maior pico da frequência obtido quando todos os orifícios da flauta estiverem fechados (veja a figura 6 que representa a frequência

fundamental). Anotar na tabela a seguir o resultado. Repetir o procedimento reduzindo o número de orifícios fechados do pé da flauta para o bocal. Anote os resultados na tabela a seguir.

Orifícios abertos do Pé para o bocal	Todos fechados	1° aberto	1° e 2° abertos	1°ao 3° abertos	1°ao 4° abertos	1°ao 5° abertos	1°ao 6° abertos	1°ao 7° abertos
Frequências observadas (Hz)	[290]	[316]	[341]	[356]	[400]	[438]	[485]	[510]

Tabela 1



Figura 5

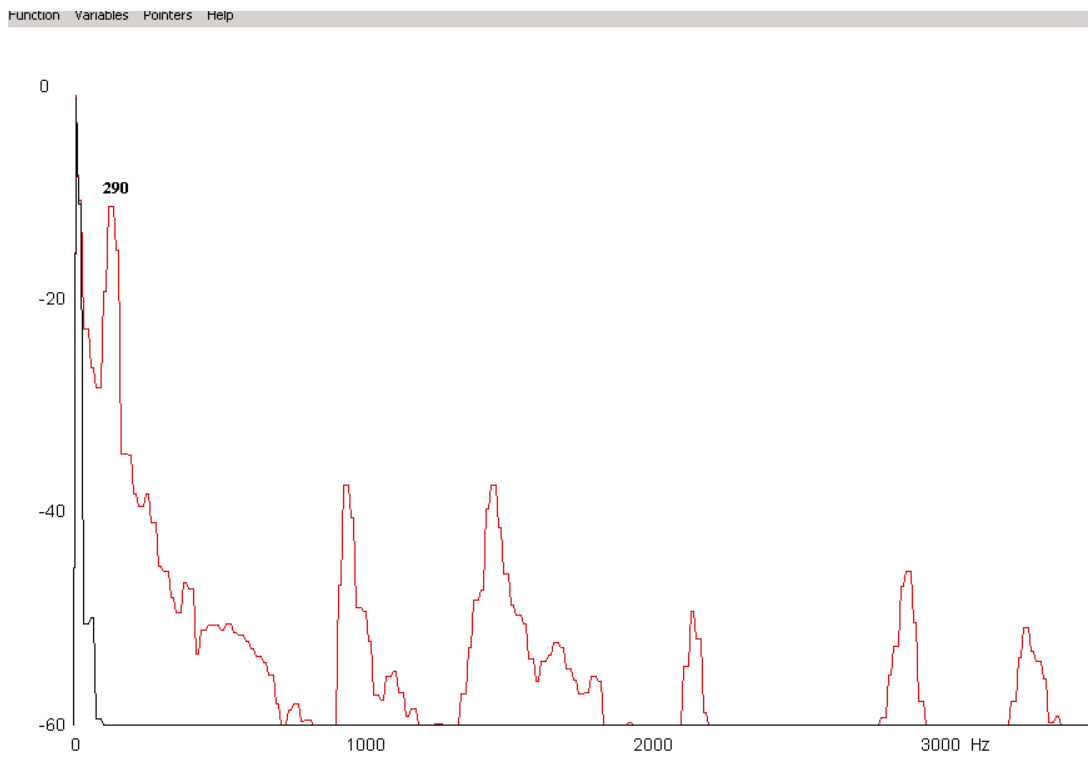


Figura 6

E.10) O que ocorre com a frequência à medida que os orifícios abertos vão se aproximando do bocal?

[Observando o programa *Spectrogram* percebe-se que a frequência com maior pico de intensidade aumenta à medida que os orifícios abertos se aproximam do bocal. Sendo assim a frequência fundamental aumenta à medida que a coluna de ar vai reduzindo.]

E.11) Que relação é possível fazer entre a flauta doce e tubo de uma extremidade fechada e fixa?

[A flauta doce se comporta com um tubo de uma extremidade fechada sendo esta extremidade fechada o bocal da flauta. É possível perceber tanto no tubo quanto na flauta, a medida que a coluna de ar para oscilar dentro do tubo diminui a frequência fundamental aumenta.]

Discutir a problema inicial com todos os integrantes da sala de aula.

Com todas as análises e informações que obtiveram vocês já tem condições de responder à problemática inicial.

Muitos instrumentos musicais têm forma de um tubo, como a flauta e o saxofone, por exemplo. O que ocorre com o ar dentro deste tubo para que este possa gerar as notas musicais conhecidas?

[As ondas sonoras sofrem interferência, que em certos momentos é construtiva obtendo como resultado um som de amplitude ou intensidade elevada e em certos momentos há interferência destrutiva tendo como resultado um som de amplitude ou intensidade nula. Se a onda sonora entrar em ressonância com a frequência natural da coluna de ar dentro do tubo se obterá como resultado uma onda estacionária que terá a amplitude ou intensidade aumentada. Dependendo da frequência fornecida e do comprimento da coluna de ar dentro do tubo se obtém ondas estacionárias com diferentes números de nós de deslocamento. Conservando o comprimento do tubo, quanto maior for a frequência fornecida maior o número de nós formados sendo que estas frequências não podem ser quaisquer.]

APROFUNDAMENTO:

Discutir com todos os integrantes da sala.

- 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 a relação entre as regiões claras e escuras com a pressão exercida neste meio? (Observe o gráfico abaixo da animação para responder). Qual a direção em que se observa variação de pressão em relação ao gerador representado na animação?

[As regiões claras indicam o aumento de pressão no meio, onde partículas deste estão se aproximando (sofrendo compressão). As regiões escuras indicam redução de pressão, ou seja, as partículas desta região estão se afastando. Pode-se notar que uma região rarefeita antecede temporalmente nesta mesma região comprimida. Esse processo se dá devido à transferência de energia. A direção em que ocorre variação de pressão coincide com a direção de emissão da onda sonora pelo gerador de ondas, por este motivo, diz-se que a onda é longitudinal.]

4º GUIA DE ATIVIDADE

Notas musicais e timbre em instrumentos sonoros

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?

Para chegar à resposta desta questão, você vai inicialmente responder questões mais simples e realizar as atividades propostas para então ao final retornar a esta.

Responda individualmente as cinco primeiras questões

P. 1) Quando se escuta um coral cantado percebe-se que há pessoas que têm uma voz mais grave e outras com voz mais aguda. Qual a diferença entre um som grave e um agudo?

[O som grave parece ser “mais grosso”, mais baixo que o agudo, o que faz com que esta diferença ocorra é a frequência fundamental do som emitido pelas pessoas sendo a do som grave tem uma menor frequência fundamental que do som agudo.]

P. 2) Por que motivo o músico quando toca um violão altera a posição do dedo que pressiona uma das cordas no braço do violão? O que ocorre com o som emitido pela corda à medida que há um encurtamento na parte da corda vibrante?

[O músico altera a posição do dedo para alterar o comprimento da parte da corda que vibra, obtendo assim diferentes notas musicais. O som fica cada vez mais agudo, ou seja, aumenta a frequência da onda que se forma na corda assim como a frequência da onda sonora emitida.]

P. 3) Quais são as notas musicais conhecidas? O que faz com que as notas musicais sejam diferentes?

[Dó, Ré Mi, Fá, Sol, Lá, Si. A frequência fundamental que cada nota apresenta, sendo que a nota Dó é a nota de menor frequência dentro de uma oitava e o Si, a de maior.]

P. 4) Quando o volume sonoro de um aparelho de som é intensificado o que ocorre com a altura do som?

[No dia-a-dia costuma-se dizer que o som está alto quando a intensidade sonora é grande, mas em física altura do som não está associada à intensidade sonora, mas sim à frequência, isto é, ao fato de que os sons são percebidos como graves ou agudos. Sendo assim no ponto de vista científico a altura do som nada tem a ver com a intensidade.]

P. 5) Em garrafas de diferentes comprimentos, quando se sopra paralelamente à boca destas garrafas se percebe que há sons emitidos. O que acontece com os sons produzidos com garrafas de diferentes comprimentos?

[O som tem sua frequência aumentada à medida que a garrafa reduz de comprimento, ou seja, o som se torna mais agudo.]

As questões G.1 e G.2 devem ser discutidas em grupo.

G. 1) As respostas das questões anteriores que você considera como corretas devem ser expostas aos membros do grupo. Discuta com seu grupo sobre suas previsões. As suas respostas estão de acordo com a de seus colegas?

Vocês devem discutir as previsões de cada componente e confrontar umas com as outras.

G. 2) O grupo pode chegar a uma ideia final para cada questão anterior. Qual seria esta ideia em relação às cinco questões anteriores?

ATIVIDADE EXPERIMENTAL

A atividade experimental consiste em:

- gerar ondas sonoras dentro de garrafas de diferentes tamanhos e observar as frequências fundamentais;
- utilizar um violão para analisar e discutir as diferentes notas musicais geradas usando como recurso o *software Spectrogram*;

- usar um diapasão de frequência igual ao da nota Lá e comparar com a mesma frequência fundamental da nota Lá do violão analisando semelhanças e diferenças;

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Pegue garrafas de vidro de diferentes tamanhos e sopre pronunciando a palavra tu de tal forma que a corrente de ar que sai de sua boca esteja aproximadamente perpendicular à boca das garrafas. Utilize o microfone e o software Spectrogram para anotar a frequência fundamental produzida em cada garrafa.

Questões devem ser discutidas em grupo.

E. 1) Qual a diferença do som obtido com maior garrafa em relação à menor?

[A menor garrafa fornece um som mais agudo, “mais fino” e a maior, um som mais grave “mais grosso”.]

E. 2) Observando no *software Spectrogram*, o que diferencia os sons obtidos de diferentes garrafas quanto às suas frequências?

[Quanto menor for a garrafa, maior será a frequência do pico de maior intensidade que se pode observar com o *software Spectrogram*. Por isto percebem-se sons mais agudos em garrafas pequenas do que nas grandes.]

E. 3) Relembre a atividade realizada com a flauta doce do 3º guia de atividades. Qual é a relação entre o comprimento das garrafas e a distância entre os orifícios os quais vão sendo abertos em direção ao bocal da flauta?

[Os dois se comportam como um tubo com uma extremidade aberta, sendo assim o que é importante é o comprimento da coluna de ar dentro do tubo e não o seu formato.]

E. 4) Dentro de qualquer tubo (seja em garrafas, de diferentes comprimentos, em uma flauta ou tubos de ensaio) o que ocorre com a frequência do som emitido à medida que o comprimento da coluna de ar é reduzida?

[À medida que o comprimento da coluna de ar é reduzido a frequência dos sons emitidos aumenta.]

Com o violão analise as notas musicais obtidas utilizando o software Spectrogram. Anote a frequência fundamental para cada uma das cordas .

E. 5) Os violões possuem seis cordas. Quais os valores das frequências fundamentais obtidas em cada corda (inicie da mais fina para a mais grossa)? Anote na Tabela 1 os respectivos valores.

Cordas	1° corda	2° corda	3° corda	4° corda	5° corda	6° corda
Frequências (Hz)						

Tabela 1

[Frequências em Hz: 307, 241, 192, 145, 110, 82]

E. 6) Qual a dependência entre a espessura da corda e a frequência obtida?

[Se as cordas são do mesmo material e estiverem igualmente tensionadas, a corda com maior diâmetro vibrará com menor frequência.]

Utilize o software Spectrogram para observar o que ocorre com a frequência quando, em uma mesma corda, for alterada a posição do dedo que a pressiona, encurtando o segmento vibrante.

E. 7) O que ocorre com o valor da frequência a medida que o seguimento vibrante vai sendo reduzido?

[Quando a corda é encurtada, aumenta a frequência do som fundamental.]

Escolha uma corda do violão entre a primeira (mais fina) e a sexta (mais grossa). No braço do violão existem traços transversais ao braço, que são chamados de trastes. Para a corda escolhida, posicione o dedo indicador em cada espaço entre um traste e outro em doze intervalos seguidos. Anote os valores na tabela.

Intervalos entre trastes	toda corda	1° e 2°	2° e 3°	3° e 4°	4° e 5°	5° e 6°	6° e 7°	7° e 8°	8° e 9°	9° e 10°	10° 11°	11° 12°	12° 13°
Frequências (hz)	$f_1 =$	$f_2 =$	$f_3 =$	$f_4 =$	$f_5 =$	$f_6 =$	$f_7 =$	$f_8 =$	$f_9 =$	$f_{10} =$	$f_{11} =$	$f_{12} =$	$f_{13} =$

Tabela 2

[Frequências em Hz: 330, 349, 370, 392, 416, 440, 467, 494, 523, 555, 588, 623, 660.]

E. 8) Qual é a corda escolhida?

A escala musical é uma sucessão de tons e semitons até completar uma oitava, iniciando-se e finalizando-se pela mesma nota.

Observe uma das seqüências possíveis completando uma oitava na figura 1:



Notas musicais que compreendem uma oitava

Figura 1

Resolva a razão entre as frequências de trastes seguidos e preencha a Tabela 3.

Razão entre frequências	$\frac{f_2}{f_1}$	$\frac{f_3}{f_2}$	$\frac{f_4}{f_3}$	$\frac{f_5}{f_4}$	$\frac{f_6}{f_5}$	$\frac{f_7}{f_6}$	$\frac{f_8}{f_7}$	$\frac{f_9}{f_8}$	$\frac{f_{10}}{f_9}$	$\frac{f_{11}}{f_{10}}$	$\frac{f_{12}}{f_{11}}$	$\frac{f_{13}}{f_{12}}$
Resultado obtido												

Tabela 3

E.9) Há alguma relação entre cada uma das razões de frequências dos intervalos entre trastes calculada na tabela anterior?

[Todas as razões são de aproximadamente 1,06, sendo esta a razão entre cada semitom. Sendo assim, foi obtido uma oitava de doze notas musicais.]

E.10) As frequências fundamentais obtidas em cada corda solta da mais fina para a mais grossa ou seja de maior para menor frequência são respectivamente o Mi, Si, Sol, Ré,

Lá, Mi (sendo que esta está a duas oitava a baixo do 1° Mi). Qual foi a nota obtida na corda solta que o grupo escolheu?

Discuta com todos os componentes da turma as próximas questões (E.11 e E.12).

E.11) Questionar o que segue ao(s) grupo(s) que escolheram a primeira corda (corda mais fina) e o(s) que escolheram a última corda (corda mais grossa). Quais as frequências fundamentais obtidas para estes grupos?

E.12) Qual é a relação matemática entre o Mi da corda mais fina para o Mi duas oitavas abaixo na corda mais grossa?

[A frequência fundamental da nota Mi na corda mais grossa é 4 vezes menor da frequência fundamental da nota Mi na corda mais fina.]

Depois de responder a questão E10 e conhecer a figura 1 referente as notas musicais que formam uma oitava, vocês já tem condições de relacionar as frequências estabelecidas em cada espaço entre um traste e outro com as notas musicais referentes a estes. Preencha a tabela. 4 com as frequências já conhecidas da em cada intervalo e na coluna abaixo preencha com as notas musicais referentes a cada frequência.

Intervalos entre trastes	toda corda	1° e 2°	2° e 3°	3° e 4°	4° e 5°	5° e 6°	6° e 7°	7° e 8°	8° e 9°	9° e 10°	10° e 11°	11° e 12°	12° e 13°
Frequências (Hz)													
Nota musical													

Tabela. 4

[Frequências em Hz: 330, 349, 370, 392, 416, 467, 494, 523, 555, 588, 623, 660.
Nota musical: Mi, Fá, Fá#, Sol, á, Lá#, Si, Dó, Ré, Ré#, Mi]]

Questões (E.13 e E.14) devem ser discutidas em grupo.

Analise a mesma nota musical gerada pelo violão e um diapasão que é um instrumento que serve para medir frequência. Observe os picos de intensidade de frequência no software Spectrogram do violão e o diapasão para a mesma nota musical.

E.13) Um método tradicional de afinar um violão é utilizar um diapasão que emite a nota Lá na frequência de 440Hz comparando com a nota emitida na 1ª corda ajustada na 5ª casa, pois quando afinada esta também deve emitir o som de frequência Lá igual a 440Hz. Observando no *software Spectrogram* há alguma diferença entre os picos de frequência do violão para o diapasão? Pode-se dizer que o som emitido pelos dois é exatamente o mesmo?

[Sim há diferença o diapasão gera apenas um pico de frequência enquanto a corda do violão gera diversos picos, sendo que o maior deles tem o mesmo valor de frequência do diapasão. O som não deve ser exatamente o mesmo, pois no violão este é composto por outras frequências além da fundamental enquanto no diapasão o som emitido é composto por apenas uma frequência.]

Modifique a posição do toque mantendo a mesma corda pressionada no mesmo traste. Aproxime o toque da ponte onde a corda está presa. A mesma nota deve ser produzida.

E.14) Quando se modifica a posição do toque na mesma corda esta emite a mesma nota musical mas o som emitido não é exatamente o mesmo. O que gera esta diferença?

[Não, mesmo que a frequência fundamental seja a mesma, a corda produz harmônicos de diferentes intensidades. Mesmo que os harmônicos sejam os mesmos a medida que o toque se aproxima do cavalete onde a corda está presa o som fica mais metálico pois os harmônicos se salientam ou seja suas intensidades aumentam.]

Utilizando um Piano On-line no endereço:

<http://www.apronus.com/music/flashpiano.htm> toque nas teclas virtuais e observe as frequências fundamentais (maior pico de intensidade) utilizado para isso o software Spectrogram. Utilize também o violão procure o intervalo que emita a mesma nota musical (mesma frequência fundamental) da primeira tecla do piano.

E.15) Observe o comportamento dos picos de frequência além da fundamental. Estes picos de frequências (da nota emitida pelo violão e da nota emitida pelo piano) têm os mesmos valores?

[Não, os picos de frequência além exceto o fundamental têm diferentes valores de frequência.]

E.16) O som que você escuta quando a mesma nota é emitida é exatamente a mesma? Se a resposta for negativa, o que faz com que este som seja diferente?

[Não é exatamente o mesmo, o que faz com que o som emitido pela mesma nota musical seja diferente são as frequências harmônicas que junto com a fundamental compõe o som. A qualidade que nos permite reconhecer sons provenientes de instrumentos diferentes quando tocam a mesma nota denomina-se timbre.]

Discutir a problema inicial com todos os integrantes da sala de aula.

Com todas as análises e informações que obtiveram vocês já têm condições de responder à problemática inicial.

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

[Mesmo que a frequência fundamental seja a mesma os harmônicos não são. Devido a estes harmônicos o som de uma mesma nota musical na mesma oitava é diferente para diferentes instrumentos musicais. A qualidade que nos permite reconhecer sons provenientes de instrumentos diferentes quando tocam a mesma nota denomina-se timbre.]

APROFUNDAMENTO

Algum componente do grupo deve trazer um instrumento musical diferente do violão que ele saiba tocar ou pedir para que um amigo que saiba venha para a sala de aula trazendo este instrumento.

Analise os diferentes picos de frequência nas mesmas notas musicais que os diversos instrumentos emitem utilizando para isso o *software Spectrogram*.

5º GUIA DE ATIVIDADE

Efeito Doppler e batimentos sonoros

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?

Para chegar à resposta desta questão, você vai inicialmente responder questões mais simples e realizar as atividades propostas para então ao final retornar a esta questão.

P.1) Dois músicos com violões idênticos tocam no mesmo instante exatamente a mesma nota musical, mas um dos violões está desafinado. Como é possível perceber através do som emitido pelos dois, que um deles está desafinado?

[Através de um fenômeno conhecido como batimento, pois as cordas deveriam estar emitindo a mesma nota e o desafinamento leva a uma delas emitir uma frequência ligeiramente diferente da outra, ocorrendo uma alternância no tempo entre a interferência construtiva e destrutiva (interferência temporal).]

Uma buzina em repouso em relação a você toca continuamente e tem sua frequência correspondente à nota musical Ré. Quando a buzina estiver se deslocando você poderá escutar as notas Mi ou Dó.

P.2) Qual destas notas você escuta quando a buzina se aproxima?

[Quando a fonte se aproxima do observador o comprimento de onda observado é menor e a frequência aparente da onda recebida pelo observador fica maior que a frequência emitida efetivamente sendo assim a nota que poderá ser percebida pelo observador em repouso em relação a buzina é a nota de maior frequência sendo esta nota Mi]

P.3) Qual destas notas você escuta quando a buzina se afasta?

[Quando a fonte se afasta do observador o comprimento de onda observado é maior e a frequência aparente da onda recebida pelo observador fica menor que a frequência emitida efetivamente sendo assim a nota que poderá ser percebida pelo observador em repouso em relação a buzina é a nota de menor frequência sendo esta nota Dó.].

As questões G.1 e G.2 devem ser discutidas em grupo.

G. 1) As respostas das questões anteriores que você considera como corretas devem ser expostas aos membros do grupo. Discuta com seu grupo sobre suas previsões. As suas respostas estão de acordo com a de seus colegas?

Vocês devem discutir as previsões de cada componente e confrontar umas com as outras.

G. 2) O grupo pode chegar a uma ideia final para cada questão anterior. Qual seria esta ideia em relação às quatro questões anteriores?

ATIVIDADE EXPERIMENTAL

A atividade experimental consiste em:

- utilizar uma animação do endereço

<http://www.seed.slb.com/pt/scictr/lab/doppler/train.htm> que consiste em um músico em um trem executando uma nota, enquanto um observador está no lado de fora escutando e tentando determinar que nota está sendo tocada;

- usar o *software* Batimento para compreender o comportamento de ondas sonoras de frequências ligeiramente diferentes quando se superpõem em um ponto do espaço e com o *software* *Spectrogram* analisar o gráfico resultante da amplitude em função do tempo dos batimentos sonoros;

- analisar o que ocorre com o som emitido em uma frequência única e definida, pela caixa de som do computador quando a caixa é aproximada e afastada da parede.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

No endereço <http://www.seed.slb.com/pt/scictr/lab/doppler/train.htm> clique na imagem para iniciar a simulação que consiste em um músico em um trem em movimento executando uma nota, enquanto outra pessoa está no lado de fora escutando e tentando determinar que nota está sendo tocada;

Clique no menino e em “GO” para iniciar a simulação e ouvir o som que o menino escuta no lado de fora do trem.

V.1) O que ocorre com o som que o menino escuta à medida que o trem se aproxima?

[O som que o menino escuta tem sua frequência aumentada, sendo assim, o som que chega aos ouvidos do menino é mais agudo que o som do instrumento sonoro se este estivesse em repouso em relação ao menino.]

V.2) O que ocorre com o som que o menino escuta à medida que o trem se afasta?

[O som que chega ao menino tem sua frequência reduzida, sendo assim, o som que chega ao ouvido do menino é cada vez mais grave à medida que a fonte sonora se afasta.]

A visualização da propagação de uma onda pode ser feita em termos de suas frentes de onda, ou seja, da distribuição geométrica dos pontos da onda que apresentam uma mesma fase, digamos, dos pontos da crista da onda. Por exemplo, na figura 1 pode-se ver as frentes de onda de uma onda plana e de uma circular que se propagam na superfície da água.



Figura 1 (frentes de onda de uma onda plana)



Figura 2 (frentes de onda de uma onda circular)

As ondas sonoras geradas por uma fonte pontual em repouso são esféricas, como representada na figura 3. Logo, as frentes de onda também são esféricas. Uma representação das frentes que se propagam em um plano pode ser vista na figura abaixo.

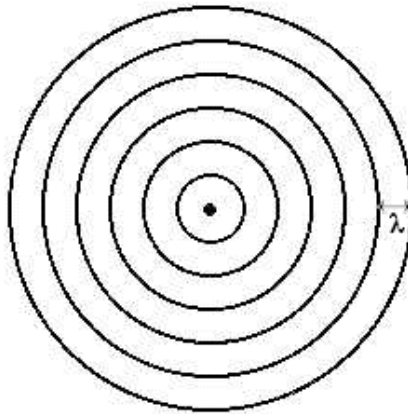


Figura 3

Na simulação http://www.walter-fendt.de/ph14br/dopplereff_br.htm você poderá ver as frentes de onda que se aproximam e se afastam de um observador em um plano.

Observe na simulação como se comportam as ondas emitidas por fontes em movimento.

V.3) Desenhe a frente de onda:

a) quando a fonte sonora se aproxima do observador;

b) quando a fonte sonora se afasta do observador;

c) o que ocorre com em cada caso com a distância entre as frentes de onda? Compare com o caso em que a fonte está parada.

V.4) Qual é a diferença na representação das distâncias entre as frentes da onda (cristas das ondas) sonora que saem do violino em movimento e se dirigem ao menino quando o trem se aproxima e quando o trem se afasta?

[Quando comparamos o comprimento de onda emitido pelo violino em repouso em relação ao observador com o comprimento de onda detectado pelo observador quando o violino está em movimento, constatamos que são diferentes: quando o violino se afasta do observador, o comprimento de onda que chega ao observador é maior do que quando o violino está em repouso; quando o violino se aproxima do observador, o comprimento de onda que chega ao observador é menor do que quando está em repouso. Esta variação do comprimento de onda e, conseqüentemente da frequência observada é devido o movimento relativo fonte-observadora sendo conhecido como “efeito Doppler”.]

Voltando para o endereço <http://www.seed.slb.com/pt/scictr/lab/doppler/train.htm> , clique na menina que toca o violino no trem, para modificar o referencial de observação. A menina está parada neste novo referencial.

V.5) Há diferença entre o som que o menino escuta quando o trem se aproxima e se afasta dele para o som que a menina escuta quando o mesmo trem se aproxima e se afasta do menino?

[Quando o observador é o menino, o som que ele escuta tem sua frequência alterada quando o trem passa. Quando o observador é a própria menina a frequência do som não sofre alterações, pois a fonte não está em movimento em relação à menina.]

É possível descrever o efeito Doppler para a fonte em movimento e o observador em repouso de uma forma quantitativa como segue.

A fonte em repouso emite uma onda de comprimento $\lambda = \frac{v_s}{f_s}$. O som tem sua velocidade constante em relação ao meio no qual se propaga (ar). Quando a fonte está em movimento o comprimento de onda deixa de ser $\frac{v_s}{f_s}$ pois conforme a fonte sonora se aproxima da pessoa, o intervalo de tempo entre as frentes de onda é menor devido à velocidade da fonte. Quando a fonte sonora passa a se afastar do observador então as frentes de onda sucessivas que alcançam a pessoa estão mais espaçadas e conseqüentemente o intervalo de tempo entre elas aumenta. O comprimento de onda que chega ao observador é dado por: $\lambda = (v_s - v_{\text{fonte}}) \frac{1}{f}$, onde v_{fonte} , é a velocidade da fonte e é considerada positiva quando a fonte se aproxima e negativa quando a fonte se afasta. f é a frequência da fonte e v_s é a velocidade do som em relação ao meio. Então, para este observador a onda terá uma frequência f_0 dada por:

$$f_0 = \frac{v_s}{\lambda}, \text{ ou seja } f_0 = \frac{f \cdot v_s}{(v_s - v_{\text{fonte}})}$$

No endereço

<http://phy03.phy.ntnu.edu.tw/oldjava/portuguese/ondas/efeitoDoppler/Doppler.html> ,

considere a onda como sendo uma onda sonora com a velocidade de aproximadamente

340m/s. Determine a velocidade da fonte, que deve ser menor que a do som, e o comprimento de onda.

V.6) Com as equações discutidas anteriormente você tem condições de calcular a frequência da onda percebida pelo observador em repouso.

- a) Que velocidade da fonte que você escolheu?
- b) Qual a frequência do som?
- c) Qual a frequência do som percebida pelo observador?

Com o software Batimento selecione duas frequências próximas e inicie o processo.

V.7) Há alguma particularidade no som que se escuta?

[A intensidade do som varia periodicamente, passando por máximos e mínimos alternados.]

V.8) Quando se escuta o som resultante destas duas frequências é possível perceber o efeito chamado batimento. Devido a que estes batimentos acontecem?

[Quando duas fontes sonoras emitem sons com frequências muito próximas é possível perceber, em uma dada posição, a interferência entre as ondas sonoras que em certos momentos é destrutiva e em outros é construtiva. Como as ondas sonoras têm pequenas diferenças de frequência e estão interferindo umas com as outras, em certos instantes, esta interferência será construtiva (estão em fase) e em outros instantes será destrutiva (fora de fase). A interferência construtiva, assim como a destrutiva, se altera de forma periódica desde que não haja mudanças nas frequências dos sons emitidos.]

Com as duas frequências em execução no software Batimento abra o software Spectrogram analise qual o comportamento do gráfico à medida, em que se visualiza o batimento (exemplo figura 4).

V.9) Como a interferência é percebida no gráfico resultante?

[Quando duas ondas sonoras se encontram em fase em um ponto do espaço seus máximos coincidem e as amplitudes se somam. Mas como suas frequências são ligeiramente diferentes, em um momento posterior as ondas se encontrarão totalmente fora de fase e as amplitudes se subtrairão tendo como resultado intensidade sonora nula. No gráfico vê-se que a amplitude é zero ou muito pequena. A amplitude varia constantemente desde o valor máximo até o mínimo e retorna novamente para o máximo e assim sucessivamente.]

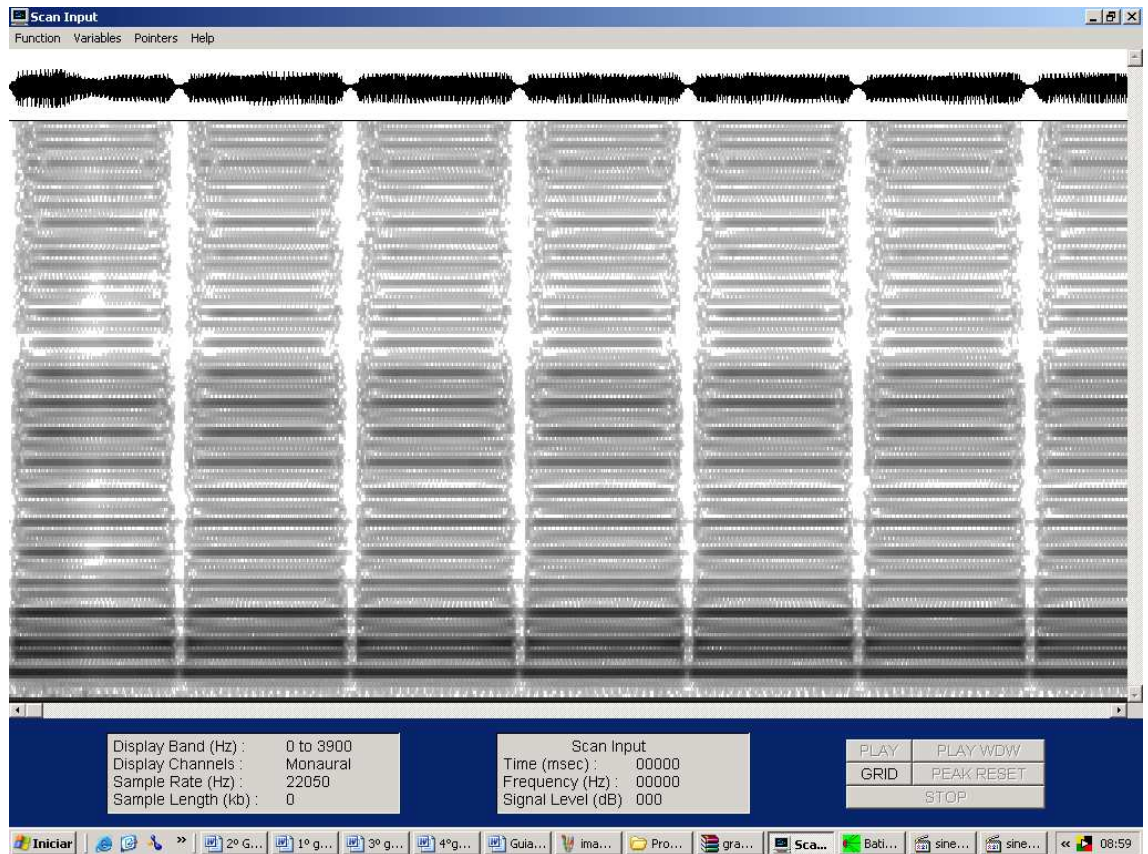


Figura 4

No endereço <http://www.if.ufrgs.br/fis183/applets/stationary.html> observe as animações e responda a próxima questão.

V.10) Qual a diferença entre os batimentos e as ondas estacionária?

[As ondas estacionárias são formadas devido à superposição de ondas de mesma frequência. O(s) ponto(s) em que a interferência é destrutiva (nós) são fixos, quando a frequência é mantida fixa. O efeito de batimento se deve a ondas sonoras com frequências ligeiramente diferentes. Em um ponto do espaço as ondas se superpõem de forma construtiva quando em fase e, em um instante posterior elas se encontrarão totalmente fora de fase, ocorrendo superposição destrutiva. Então se naquele ponto do espaço estiver um observador, ele notará que a intensidade sonora varia periodicamente, aumentando e diminuindo.]

No Software Batimento modifique as frequências aumento a diferença entre elas (exemplo figura 5).

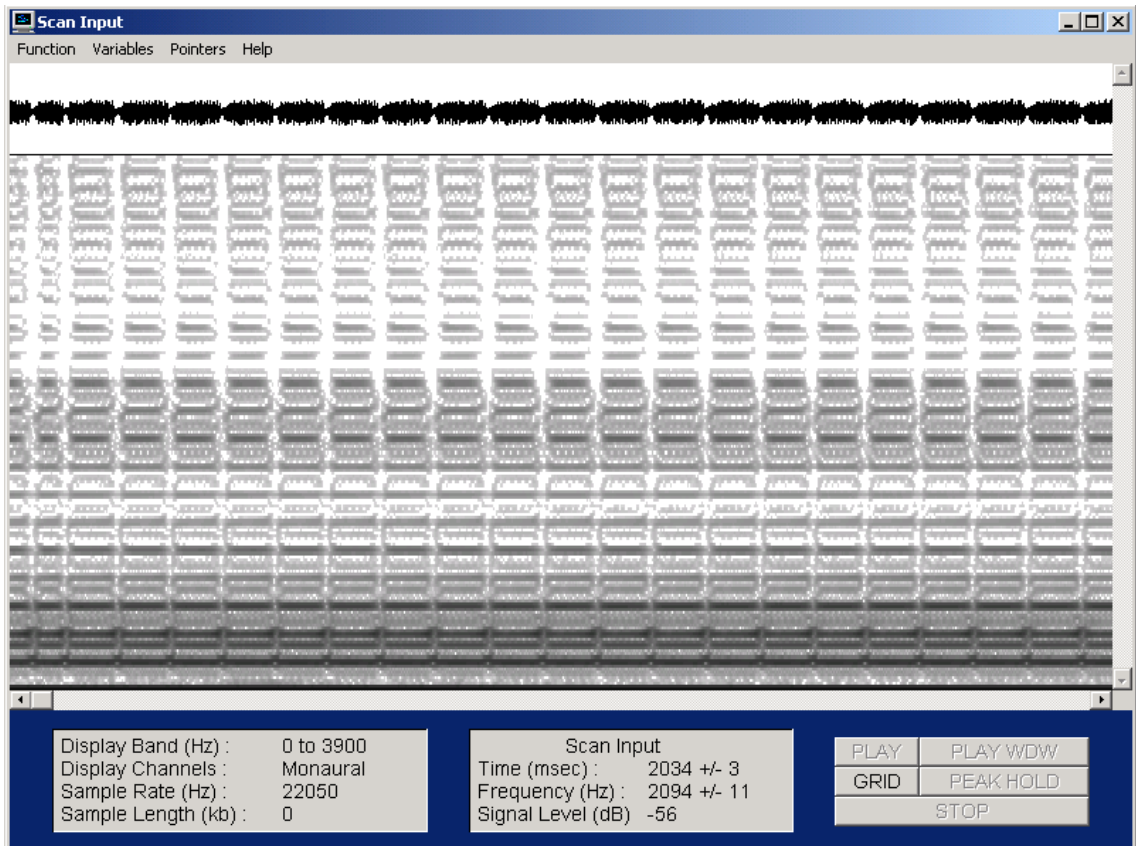


Figura 5

E.1) Por que as ondas sonoras devem ter pequenas diferenças entre as frequências para se perceber os batimentos?

[À medida que a diferença de frequência entre as ondas sonoras aumenta a frequência dos batimentos também é aumentada. A capacidade auditiva humana não consegue discernir que o som está variando de intensidade se esta variação for muito rápida, isto é, se os batimentos tiverem frequência superior a 10 Hz aproximadamente.]

E.2) Como se pode calcular a frequência de batimentos, para duas frequências f_a e f_b , sendo $f_a > f_b$?

[Pode-se calcular por: $f_{\text{bat}} = f_a - f_b$ ou também por: $f_{\text{bat}} = 1/T_{\text{bat}}$, onde T_{bat} é o tempo de repetição dos batimentos (Se inicialmente as ondas estão em fase, acontecendo então uma interferência construtiva, o período será o intervalo de tempo para que estas ondas estejam em fase novamente)].

No software *Batimento* selecione apenas uma frequência em execução, aproxime e afaste da parede a caixa de som do computador e com o software *Spectrogram* observe o comportamento do gráfico (exemplo figura 6).

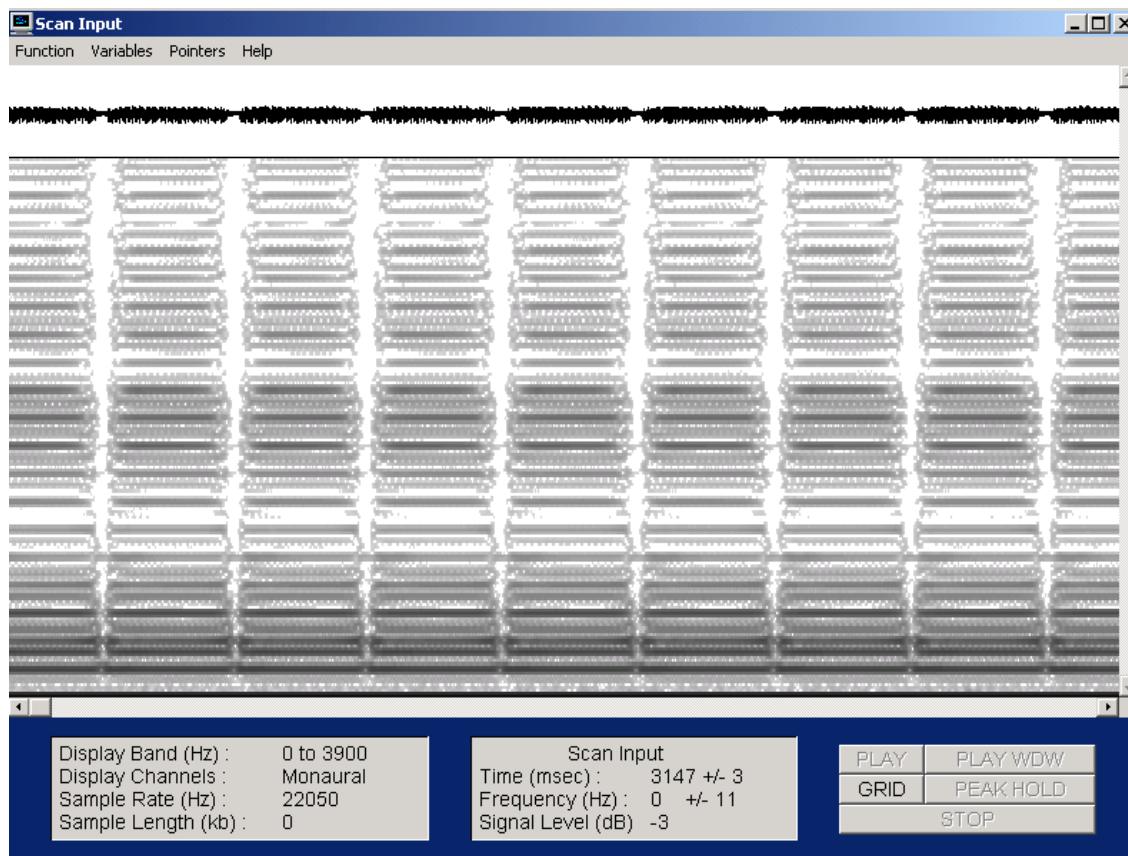


Figura 6

E.3) O que se percebe em relação ao som resultante à medida que se aproxima e afasta alternadamente a caixa de som da parede? A que este efeito se deve?

[Quando uma fonte sonora emite ondas que são refletidas por uma parede, as ondas refletidas possuem comprimento de onda menor (maior frequência) do que as ondas incidentes se a fonte se aproxima da parede. Caso a fonte se afaste da parede, o som refletido terá comprimento de onda maior (menor frequência) do que o do som incidente. Um observador posicionado próximo de uma fonte que se movimenta em relação à parede, acaba por receber simultaneamente sons provenientes diretamente da fonte e sons refletidos pela parede; ora, esses dois sons possuem frequências, o que ocasiona o já conhecido fenômeno dos batimentos.]

Discutir a problema inicial com todos os integrantes da sala de aula.

Com todas as análises e informações que obtiveram vocês já têm condições de responder à problemática inicial.

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?

[Quando a ambulância se aproxima de mim, recebo ondas sonoras provenientes da sirene com comprimento de onda menor (portanto frequência maior) do que receberia caso a sirene estivesse estacionada. Quando a ambulância se afasta de mim, recebo ondas sonoras provenientes da sirene com comprimento de onda maior (portanto frequência menor) do que receberia caso a sirene estivesse estacionada. Esse fenômeno que implica variações na frequência das ondas devido ao movimento relativo fonte-observador é denominado “efeito Doppler”. Portanto, quando a ambulância se aproxima e depois se afasta de mim, acabo por receber sons provenientes da sirene em movimento com frequência maior (sons mais agudos) e depois com frequência menor (sons mais graves). Algo semelhante ocorre com o som captado pelos microfones estacionados próximos às pistas de corrida: quando o carro de corrida se aproxima do microfone o som é mais agudo do que quando ele se afasta.]

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.

Ao que se deve a formação de ondas de choque?

[Quando a velocidade do avião se aproxima muito da velocidade das ondas sonoras que ele emite (lembramos que a velocidade do som em um meio não é alterada pelo movimento da fonte que o origina) as cristas das ondas sonoras à frente do avião se sobrepõem, formando uma crista única, de amplitude bem maior do que a amplitude de qualquer uma das ondas originais. Se o avião acelerar para uma velocidade igual a do som, ou seja, com a mesma velocidade de deslocamento de suas ondas de pressão, este estará comprimindo o ar à sua frente acompanhando as ondas. Se o avião viajar com velocidade maior do que a do som, também aparecerá uma região de ar a alta pressão na frente do avião. Um barco navegando com velocidade maior do que a das ondas que ele gera na água também produz um efeito análogo; vemos o aparecimento junto à proa do barco de uma onda de grande amplitude. Assim, à frente de um objeto que se move através do ar, a pressão do ar fica maior do que o seu valor normal. Quando o objeto se move com velocidade igual ou superior a das ondas sonoras, a crista única passa a ter uma amplitude muito grande e recebe o nome de onda de choque.]

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

[Se o avião ultrapassa a velocidade do som, ele estará deixando para trás as ondas de

pressão que vai produzindo. Quando o ar é comprimido, sua pressão e densidade aumentam, formando uma onda de choque. Em vôo supersônico, o avião produz inúmeras ondas de choque. As ondas de choque geradas por um avião em vôo supersônico atingirão o solo depois da passagem do avião que as está produzindo. Uma pessoa no solo verá o avião passar sem escutar ruído algum, até que as ondas de choque finalmente alcancem essa pessoa, que então ouvirá um forte estrondo. Semelhantemente uma pessoa que esteja na beira da água onde navega um barco com velocidade superior a das ondas que ele gera na água, somente perceberá a chegada das ondas originadas no barco após a passagem do barco.]

Apêndice B

Teste conceitual proposto e aplicado como pré e pós-teste.

Neste apêndice apresentamos o teste conceitual proposto e aplicado como pré e pós-teste. Nesta versão do teste suprimimos os espaços deixados em branco para que os alunos apresentassem as suas respostas discursivas.

Nas questões que seguem, apresente os motivos que o levam a pensar que sua resposta esteja correta.

1- Em inúmeros filmes de ficção científica, em cena de batalhas espaciais é possível ouvir estrondos quando uma nave atinge outra e também se vê a explosão das naves mesmo estando ambas no vácuo do espaço sideral. Seria possível ver e ouvir a explosão das duas naves caso um observador estivesse próximo do local onde ocorreu tal acontecimento?

2- O som é um exemplo de uma onda longitudinal. Uma onda produzida numa corda esticada é um exemplo de uma onda transversal. O que difere ondas mecânicas longitudinais de ondas mecânicas transversais?

3^a - Uma onda sonora propaga-se no ar com frequência, comprimento de onda e velocidade. Quando esta onda atinge a superfície de um lago, penetra no lago e continua a se propagar na água. Haverá alguma alteração (aumentará, diminuirá, ou não sofrerá alteração) na frequência, no comprimento de onda e na velocidade de propagação?

4 - Uma corda é esticada por duas pessoas pelas extremidades como representado na figura 1, e cada uma envia um pulso na direção da outra. Os pulsos têm o mesmo formato, mas estão invertidos como mostra a figura. O que ocorrerá com os pulsos quando se cruzarem?

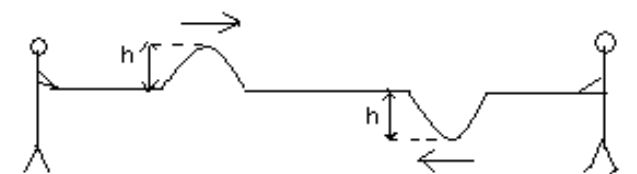


Figura 1

5 - Pelo efeito de difração da onda sonora, é possível que o Pedro ouça a voz da Maria, situada atrás de um muro de concreto. A luz também se comporta como uma onda, ou seja, também pode sofrer difração. Por que motivo Pedro não visualiza Maria quando ela está atrás do muro?

Nas questões que seguem, escolha a alternativa que melhor responde a questão.

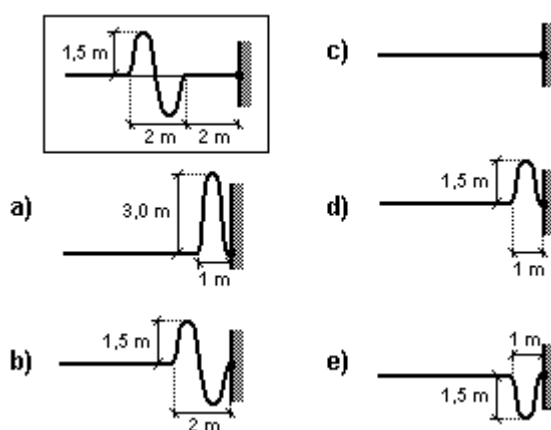
^a <http://www.fisicalegal.net/exercicios/ondas/ondas1.html>

6^b - Olhando o movimento de uma folha que flutua na superfície de um lago calmo quando por ela passa uma onda, o que o observador verá?

- O movimento da folha apenas na direção vertical, em um movimento de sobe e desce.
- A folha acompanhar a onda.
- A folha se movimentar na direção vertical, em um movimento de sobe e desce, e concomitantemente na direção horizontal, em um movimento de vai e vem.
- O movimento da folha apenas na direção horizontal, em um movimento de vai e vem.

7^a- (UFES 2001) A perturbação senoidal, representada na figura no instante $t=0$, propaga-se da esquerda para a direita em uma corda presa rigidamente na sua extremidade direita. A velocidade de propagação da perturbação é de 3m/s e não há dissipação de energia nesse processo.

Assinale a alternativa contendo a figura que melhor representa a perturbação após 1s.



8^a- (UnESP 93) O caráter ondulatório do som pode ser utilizado para eliminação, total ou parcial, de ruídos indesejáveis. Para isso, microfones captam o ruído do ambiente e o enviam a um computador, programado para analisá-lo e para emitir um sinal ondulatório que anule o ruído original indesejável. O fenômeno ondulatório no qual se fundamenta essa nova tecnologia é a:

- interferência.
- difração.
- polarização.
- reflexão.
- refração.

9^a- (PUCCamp 2001) Quando se ouve uma orquestra tocando, consegue-se distinguir diversos instrumentos, mesmo que estejam tocando a mesma nota musical. A qualidade fisiológica do som que permite essa distinção é

- a altura.
- a intensidade.
- a potência.
- a frequência.
- o timbre.

^b GASPAR, A. Física série Brasil, v. Único, 1^a edição, Editora Ática, 2004.

10^b-(UFPEL-RS) A tabela abaixo apresenta as frequências, em hertz, dos sons fundamentais de notas musicais produzidas por diapasões que vibram no ar em um mesmo ambiente.

Dó	Ré	Mi	Fá	Sol	Lá	Si
264	297	330	352	396	440	495

- a) O comprimento de onda do som Lá é menor do que o som Ré, mas ambos propagam-se com mesma velocidade;
- b) O som Si é mais grave do que o som Mi, mas ambos têm o mesmo comprimento de onda.
- c) O som Sol é mais alto do que o som Dó e se propaga com maior velocidade.
- d) O som Fá é mais agudo do que o som Ré, mas sua velocidade de propagação é menor.
- e) O som Lá tem a maior velocidade de propagação do que o som Dó, embora seus comprimentos de onda sejam iguais.

11^b-(Acafe-SC^c) É difícil ouvir o orador em certos auditórios por causa do eco e da reverberação de suas palavras. Uma maneira de corrigir isso é:

- a) instalar um amplificador e alto-falantes.
- b) pendurar tapetes e cortinas pesadas nas paredes do auditório.
- c) pedir silêncio à platéia.
- d) instalar caixas de sons por todo o auditório;
- e) instalar aparelhos de ar condicionado no auditório.

12^b- (UFMG 2000) Ao tocar um violão, um músico produz ondas nas cordas desse instrumento. Em consequência, são produzidas ondas sonoras que se propagam no ar.

Comparando-se uma onda produzida em uma das cordas do violão com a onda sonora correspondente, é CORRETO afirmar que as duas têm:

- a) a mesma amplitude.
- b) a mesma frequência.
- c) a mesma velocidade de propagação.
- d) o mesmo comprimento de onda.

Nas questões que seguem, responda conforme solicitado na questão.

13^a- (UnB 98^c) As ondas têm presença marcante na vida das pessoas. Elas ocorrem em conversas e músicas, na televisão e em ruídos diversos. Algumas ondas têm como característica, a necessidade de um meio material para se propagarem e, às vezes, são chamadas de ondas materiais ou mecânicas, a exemplo do som e de uma onda se propagando em uma corda. Por outro lado, há também ondas que não precisam de um meio material, como, por exemplo, a radiação eletromagnética (luz). Contudo, em qualquer dos casos, a presença de um meio afeta bastante a propagação das ondas. Quais das afirmativas sobre ondas você considera como sendo verdadeira ou falsa.

^c A questão foi levemente alterada ou sofreu inserções.

Marque (V) para as verdadeiras e (F) para as falsas.

- () O efeito chamado de difração somente ocorre com a luz.
- () Se uma onda se propaga com velocidade v em uma corda, cada ponto dessa corda também se move com velocidade v .
- () A velocidade de propagação de uma onda independente do meio.
- () O efeito chamado de interferência somente ocorre com ondas que se propagam em meios materiais;
- () A refração é uma característica que ocorre com qualquer onda, seja ela mecânica como o som ou eletromagnética como a luz.
- () Somente se tem superposição de ondas quando estas têm mesma frequência e amplitude.
- () Para que se forme onda estacionária é necessário que as ondas componentes tenham mesma amplitude e frequência.
- () Sempre que há reflexão de uma onda, haverá formação de onda estacionária.
- () Quando uma onda se refrata ao encontrar a superfície de separação de dois meios transparentes e de diferentes densidades, a frequência permanece constante.
- () Ondas transportam energia e quantidade de movimento.

14^b- (UFMS) Suponha um violeiro destro que dedilhe uma viola de 10 cordas com a mão direita e escolha as notas com a mão esquerda. Ao correr a mão esquerda, fixando certos pontos sobre a corda da viola, o violeiro define as notas musicais que tirará do instrumento ao dedilhar. Qual(ais) da(s) afirmativa(s) justifica(m) fisicamente a ação do violeiro ao dedilhar:

- a) modifica a velocidade das ondas nas cordas da viola ao pressionar em diferentes pontos da corda sobre o braço da viola
- b) modifica a intensidade das vibrações ao pressionar diferentes pontos da corda sobre o braço da viola.
- c) modifica a frequência das vibrações das cordas da viola ao pressionar diferentes pontos da corda sobre o braço da viola.
- d) modifica o comprimento de onda das vibrações das cordas da viola ao pressionar diferentes pontos da corda sobre o braço da viola.
- e) modifica tanto a velocidade das ondas nas cordas da viola como a intensidade das vibrações ao pressionar diferentes pontos da corda sobre o braço da viola.

15^b - (PUC-PR) Instrumentos musicais de sopro, como saxofone, oboé e clarinete, empregam a ideia de onda sonora estacionária em tubos, pois são emitidas ondas sonoras de grande amplitude para as frequências de ressonância ou harmônicos correspondentes. Sobre esse assunto, marque qual (is) da(s) alternativa(s) está(ão) incorreta(s).

- a) O harmônico fundamental em tubo sonoro aberto em ambas as extremidades tem um nodo e um ventre.
- b) A extremidade fechada de um tubo sonoro fechado sempre corresponde a um nodo de deslocamento.
- c) Em tubos abertos, todos os harmônicos podem existir; já em tubos fechados, apenas os harmônicos ímpares existem.
- d) Para um tubo fechado, a frequência do segundo harmônico é maior do que a do primeiro harmônico.

Apêndice C

Resposta dos alunos das turmas A e B às quatro primeiras questões do pré-teste e pós-teste.

Neste apêndice apresentamos as respostas dos alunos das duas turmas às quatro primeiras questões do pré-teste e pós-teste. Alguns alunos ilustraram suas respostas com desenhos, que foram considerados na avaliação, mas não incluídos nas tabelas deste apêndice.

No caso da questão versar sobre mais de um conceito foram atribuídos escores parciais para cada um dos conceitos sob avaliação. As respostas dos alunos estão transcritas na primeira coluna das tabelas 1 a 8 e os escores parciais são apresentados nas colunas subsequentes. O escore total de cada aluno em cada questão foi obtido a partir da média dos respectivos escores parciais normalizada a 2, ou seja, o valor máximo atribuído a cada questão é 2.

Os alunos da Turma A, em que foi feita a experiência didática, foram identificados como A.n, sendo n um número de 1 a 19; os alunos da Turma B, como B.n, com n variando de 1 a 20.

Tabela C.1 Questão 1 (1ª linha) e respostas dadas pelos alunos das turmas A e B (demais linhas) no pré-teste. A segunda e terceira colunas contêm os escores atribuídos na avaliação referente aos conceitos de som e luz, respectivamente.

Questão 1/Respostas	escores	
Em inúmeros filmes de ficção científica, em cena de batalhas espaciais é possível ouvir estrondos quando uma nave atinge outra e também se vê a explosão das naves mesmo estando ambas no vácuo do espaço sideral. Seria possível ver e ouvir a explosão das duas naves caso um observador estivesse próximo do local onde ocorreu tal acontecimento?	s o m	L U z
A1- <i>Não, pois no vácuo ele não emite som, mas ver a cena da explosão ele consegue ver.</i>	2	2
A2- <i>Não porque as ondas sonoras precisam do ar para se propagar.</i>	2	0
A3- <i>Não é possível pois eles estão no vácuo e isso (ver e ouvir) não poderia acontecer.</i>	2	0
A4- <i>Seria possível, porque não existe grande quantidade de ar no espaço mas existe som e luz.</i>	0	2
A5- <i>ver sim ouvir não.</i>	1	1
A6- <i>Pode-se ver mas não ouvir o barulho que está no vácuo, pois o vácuo está totalmente fechado, não se pode ouvir nada que está dentro, mas pode-se sentir uma pulso.</i>	2	2
A7- <i>Não se pode ver ou ouvir</i>	0	1
A8- <i>Ver sim mas não é possível ouvir porque o vácuo não deixa o som se propagar.</i>	2	2
A9- <i>Não pois não há emissão de ondas para trazer o som para nós e nem luminosidade.</i>	2	2

A10- <i>Se estiver próximo é possível ver e ouvir.</i>	0	1
A11- <i>Não é possível ver pois quando uma pessoa não consegue ver o que acontece ela mesmo assim consegue ouvir.</i>	0	0
A12- <i>Não porque para acontecer uma explosão tem que ter oxigênio e não vai ter som porque não tem ondas.</i>	2	0
A13- <i>Sim é possível ver e ouvir pois há choque.</i>	0	2
A14- <i>Não porque as ondas não se propagam no vácuo, elas precisam de ar para se propagar.</i>	2	0
A15- <i>Não, pois sem ar não tem como ouvir as ondas sonoras.</i>	2	0
A16- <i>Sim, pois as ondas sonoras chegariam até o observador. Mas no vácuo não pode se tiver som então ele só ira ver, mas não será ouvido.</i>	1	2
A17- <i>Sim, porque ele estaria perto do local, e seria possível ver e ouvir melhor.</i>	0	1
A18- <i>Ver seria possível, mas ouvir não pois o observador e o choque das naves estão no vácuo então não há som.</i>	2	2
A19- <i>Seria possível ver não ouvir, pois no vácuo o som não se propaga.</i>	2	2
B1- <i>Não é possível por causa da força gravitacional</i>	0	0
B2- <i>Não respondeu</i>	0	0
B3- <i>Quase impossível ouvir seria mais fácil dependendo onde estaria o observador.</i>	0	0
B4- <i>Não é possível ver e não é possível ouvir, pois viu no Oscar 2007 que o som dos aviões se chocando é feito por pessoas.</i>	0	1
B5- <i>é possível ouvir pois o observador esta dentro da nave ele ouve o som porque na nave ainda há ar e também daria para ver se tivesse alguma coisa inflamável.</i>	0	1
B6- <i>É possível ouvir e ver a explosão mesmo ambas estando no vácuo.</i>	0	1
B7- <i>Pode-se ver e não se pode ouvir devido a vários fatores como a gravidade, velocidade do som.</i>	0	0
B8- <i>É melhor ouvir que ver, se ele tiver próximo do local ele vai ver se ele estiver longe fica difícil.</i>	0	0
B9- <i>Não para as duas questões pois toda a senas feitas em filme são de ficção.</i>	0	1
B10- <i>Sim para ambas, porque é um lugar no vácuo então tudo será mais lento. No caso das ondas sonoras também será, mas se pode ouvir sim.</i>	0	0
B11- <i>Não pois estão no vácuo e o som não se propaga.</i>	2	0
B12- <i>Não, devido a gravidade e do espaço sideral ser muito extenso acredito que não é possível ver e ouvir.</i>	1	0
B13- <i>Seria possível ver, mas escutar não porque não tem ar suficiente para o ser humano escutar uma explosão no espaço mesmo estando próximo.</i>	2	2
B14- <i>Seria possível ver, mas ouvir não porque o som se propaga através do ar e não no vácuo.</i>	2	2
B15- <i>Só ver as explosões, mas não escutar o barulho, pois não tem escutar os barulhos porque não tem ar ou vento para empurrar.</i>	1	2
B16- <i>Sim, porque quando se chocam produzem sons e explosão que são ondas...</i>	0	0
B17- <i>Ver sim mas ouvir não porque o som se espalha no vácuo.</i>	2	2
B18- <i>Dá para ouvir porque a explosão é muito grande e também dá para ver as naves se estiverem perto.</i>	0	0
B19- <i>Não é possível ver e ouvir pois acontece no espaço sideral. Nos filmes pode-se ver e ouvir pois é tudo uma montagem.</i>	1	0
B20- <i>Sim, o observador consegue ver e ouvir, mas ele ouve depois do acontecido, pois as ondas sonoras demoram para chegar até o observador.</i>	0	1

Tabela C.2 Questão 2 (1ª linha) e respostas dadas pelos alunos das turmas A e B (demais linhas) no pré-teste. A segunda e terceira colunas contêm os escores atribuídos na avaliação referentes aos conceitos de onda transversal e longitudinal, respectivamente.

Questão 2/Respostas	escores	
O som é um exemplo de uma onda longitudinal. Uma onda produzida numa corda esticada é um exemplo de uma onda transversal. O que difere ondas mecânicas longitudinais de ondas mecânicas transversais?	t r a n g	l o n g
A1- <i>Que as ondas longitudinais o som chegará mais rápido até o ouvinte e as transversais demoram mais para chegar.</i>	0	0
A2- <i>Ondas longitudinais- o pulso é transmitido na mesma direção da onda. Ondas transversais- O pulso é transmitido em uma direção e a onda em direção oposta.</i>	0	0
A3- <i>A diferença é que a onda longitudinal a propagação e a vibração são longas. A onda transversal a propagação é curta com em uma corda.</i>	0	0
A4- <i>Ondas transversais só são percebidas no local onde é criada e a longitudinal vai bem alem.</i>	0	0
A5- <i>A vibração das ondas longitudinais são tão rápidas que não é possível perceber e transversal a vibração é mais lenta sendo possível percebê-la.</i>	0	0
A6- <i>Onda longitudinal- a propagação é em linha reta em relação a boca por exemplo. Transversal- a propagação é em qualquer direção não em linha reta.</i>	0	0
A7- <i>Onda transversal a propagação é contrária a vibração e onda longitudinal a propagação é na mesma direção da vibração.</i>	1	2
A8- <i>É o modo em que uma onda se propaga.</i>	0	0
A9- Não respondeu	0	0
A10- <i>Onda longitudinal a propagação é na mesma direção do som e transversal a propagação não é a mesma da vibração.</i>	2	1
A11- <i>A onda longitudinal como o som se escuta enquanto a onda transversal em corda apenas se vê.</i>	0	0
A12- <i>Onda longitudinal o som vai na horizontal e onda transversal a corda pode estar na vertical e as ondas na horizontal.</i>	0	0
A13- <i>Ondas transversais se espalham menos e as longitudinais se espalham mais.</i>	0	0
A14- <i>As ondas longitudinais se propagam na mesma frequência da propagação. As ondas transversais se propagam em direções opostas a da vibração.</i>	0	2
A15- <i>Ondas longitudinais a mesma direção de vibração é a de propagação. Ondas transversais a direção de vibração é oposta a da propagação.</i>	2	2
A16- Não respondeu	0	0
A17- <i>A onda longitudinal é sempre perto do impacto como o som. A onda transversal é longa se desloca mais devido a força aplicada na corda por exemplo.</i>	0	0
A18- <i>Onda transversal se propaga com direção diferente da enviada.</i>	2	0
A19- <i>A diferença esta no modo de se propagar pelo ambiente.</i>	0	0
B1- <i>A onda transversal é visível e a longitudinal não pois o som não é visível.</i>	0	0
B2- <i>Ondas transversais são ondas que andam de cima para baixo. Ondas longitudinais são onda que seguem sempre para frente.</i>	1	1
B3- respondeu através de desenho	0	0
B4- <i>As longitudinais se propagam a uma distancia maior do que a transversal.</i>	0	0

B5- Longitudinais se espalham no ambiente e transversais atravessa uma corda de uma ponta a outra.	0	0
B6- Ondas longitudinais são ondas que demoram menos a se propagar que as ondas transversais.	0	0
B7- Na onda longitudinal a vibração da onda segue na mesma direção da onda. Na onda transversal, a sua vibração não segue uma única direção, mas sim se espalha.	2	1
B8- Ondas longitudinais um exemplo é uma corda sendo esticada por uma pessoa fazendo uma força. Ondas transversais- quando uma pessoa movimenta a corda para cima e para baixo formando ondas.	0	1
B9- ondas longitudinais são produzidas por maior movimento, já as ondas transversais o movimento que as produz é menor.	0	0
B10- As ondas mecânicas longitudinais vão e voltam e no caso das ondas transversais elas só vão.	0	0
B11- respondeu através de desenho	1	0
B12- Ondas mecânicas longitudinais- vão e voltam em direção reta. Ondas mecânicas transversais- se propagam transversalmente, ou seja em direção de oscilação não é na reta.	0	2
B13- Não respondeu	0	0
B14- respondeu através de desenho	0	1
B15- Não respondeu	0	0
B16- A onda mecânica longitudinal se espalha em todas as direções a transversal se propaga em apenas uma direção.	0	0
B17- A onda transversal vai sem direção e a longitudinal vai em linha reta.	0	0
B18- Ondas mecânicas longitudinais a distância atingida por elas são maior que a distância atingida pelas transversais.	0	0
B19- As ondas mecânicas transversais precisam de uma pessoa para que elas possam ser realizadas, como a corda é necessário que uma pessoa para movimentar a corda. As longitudinais não necessitam de pessoas podem ocorrer naturalmente.	0	0
B20- Ondas mecânicas longitudinais são do tipo que se propagam deitada. Ondas mecânicas transversais são ao contrario ondas em pé.	1	1

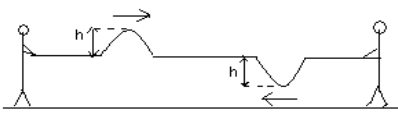
Tabela C.3 Questão 3 (1ª linha) e respostas dadas pelos alunos das turmas A e B (demais linhas) no pré-teste. A segunda, terceira e quarta colunas contêm os escores atribuídos na avaliação referente aos conceitos de frequência, velocidade de propagação e comprimento de onda, respectivamente.

Questão 3/Respostas	escores		
	f	v	c
	r	e	o
	e	l	m
	q	p	
Uma onda sonora propaga-se no ar com frequência, comprimento de onda e velocidade. Quando esta onda atinge a superfície de um lago, penetra no lago e continua a se propagar na água. Haverá alguma alteração (aumentará, diminuirá, ou não sofrerá alteração) na frequência, no comprimento de onda e na velocidade de propagação?			
A1- A onda sonora terá frequência o comprimento de onda e a velocidade aumentada.	0	1	1
A2- A água interfere no som fazendo com que este sofra alteração sendo que velocidade diminui, a frequência e o comprimento de onda aumentam.	0	0	1

A3- A onda sonora aumentará então a frequência a velocidade e o comprimento de onda aumentam.	0	1	1
A4- A velocidade do som diminui, pois quando o som entra de fora para dentro da água, quem estiver dentro d'água ouvirá um som bem menor.	0	0	0
A5- Diminuirá a velocidade de propagação pois vai demorar para entrar.	0	0	0
A6- O som diminuirá, pois ao sair de um lugar para o outro diminui como por exemplo quando se fala de uma peça da casa se escuta em outra o som bem menor.	0	0	0
A7- A velocidade do som na água é mais rápido do que no ar, assim pode ter uma propagação maior. A frequência e o comprimento de onda com tem tudo a ver com a velocidade devem aumentar também.	0	1	1
A8- Diminuirá a frequência, o comprimento de onda e a velocidade porque na água o som não se propaga na mesma velocidade que no ar.	0	0	0
A9- Diminuirá pois encontra mais matéria.	0	0	0
A10- diminuirá a frequência e a velocidade o comprimento de onda aumenta pois a onda fica mais lenta.	0	1	1
A11- Ela aumentará porque atingira a superfície do lago com uma velocidade e alterará as ondas ganhando mais força.	0	1	0
A12- Ela diminuirá a frequência e o comprimento e devido a isso a velocidade também reduz.	0	0	0
A13- A onda sonora sofrerá uma alteração na frequência ela vai diminuir.	0	0	0
A14- Não sofrerá alteração em nem uma das características pois não depende de onde o som está.	0	0	0
A15- Aumentará a velocidade porque haverá mais água.	0	1	0
A16- A velocidade aumentará, pois a densidade da água é maior que a do ar. O comprimento de onda diminui.	0	1	0
A17- Não sofrera alteração porque uma onda sonora propaga-se no ar com mesma frequência que na água.	1	0	0
A18- A frequência diminui, a velocidade diminui o comprimento não se altera.	0	0	0
A19- O som diminuirá então tudo o que forma o som diminui também.	0	0	0
B1-Todas aumentarão.	0	1	1
B2- A frequência aumentará o comprimento de onda diminuirá e a velocidade diminuirá pois a água freia o som.	0	0	0
B3- A água pode separar ou formar barreira para uma onda diminuindo a velocidade a frequência e o comprimento de onda.	0	0	0
B4-A velocidade a frequência e o comprimento de onda diminuirão.	0	0	0
B5-Frequência aumentará, velocidade diminuirá e o comprimento de onda não sofre alteração.	0	0	0
B6- Diminuirá a frequência, a velocidade e o comprimento de onda não se altera.	0	0	0
B7- A sua frequência diminuirá, seu comprimento de onda irá aumentar e sua velocidade irá diminuir.	0	0	1
B8- Dentro da água uma pessoa bate com uma pedra o som dentro da água sofre uma alteração fica mais forte então a velocidade aumenta o comprimento de onda aumenta e a frequência é a mesma.	0	2	2
B9- A velocidade diminuirá pois ao penetrar a água o som diminui, porem a frequência é a mesma e quanto ao comprimento de onda este aumenta.	2	0	2
B10- todos aumentarão pois a velocidade depende do meio e as outras dependem da frequência.	0	1	1

B11- A frequência o comprimento de onda e a velocidade aumentarão.	0	1	1
B12- Aumentará, pois se ouvirmos dentro da água o som que se escuta é melhor e mais alto que fora da água.	0	2	2
B13- Aumentará porque quando batemos pedras em baixo da água, a velocidade com que elas se chocam é maior por isso o som que ela emite é mais alto do que quando batemos as pedras na superfície.	0	2	0
B14- Todos diminuirão.	0	0	0
B15- Depois que atingir a água o som vai mais de vagar e quando chegar ao fundo quase não vai se ouvir o barulho.	0	0	0
B16- Aumentará, pois a pessoa que está dentro do lago nadando ele ouvirá o som aumentar e quem está no lado de fora não ouvirá o mesmo som do que a pessoa ali de fora do lago.	0	2	0
B17- A frequência aumenta o comprimento de onda e a velocidade não variam.	0	0	0
B18- Sim haverá alteração onde a frequência e o comprimento de onda aumentará e a velocidade diminuirá.	0	0	1
B19- Não sofrerá alteração na frequência, no comprimento de onda e nem na velocidade, só altera o volume com que a pessoa escuta dentro da água ou fora, por exemplo quando joga-se uma pedra no lago.	1	0	0
B20- Eu acho que o som aumenta então a velocidade aumenta o seu comprimento de onda também, mas a frequência continua a mesma.	2	2	1

Tabela C.4 Questão 4 (1ª linha) e respostas dadas pelos alunos das turmas A e B (demais linhas) no pré-teste. A segunda coluna contém os escores atribuídos na avaliação referente ao conceito de superposição de pulsos.

Questão 4/Respostas	escores
<p>Uma corda é esticada por duas pessoas pelas extremidades, e cada uma envia um pulso na direção da outra. Os pulsos têm o mesmo formato, mas estão invertidos como mostra a figura. O que ocorrerá com os pulsos quando se cruzarem?</p> 	
A1- Eles vão parar, pois nem um e nem outro vão conseguir passar.	0
A2- Formarão um só.	1
A3- Os impulsos se encontrarão e pararão.	0
A4- quando os dois pulsos se encontrarem vão se chocar e vão voltar daquele ponta da mesma forma.	0
A5- Vão se inverter e vão voltar com curvatura oposta.	0
A6- Um vai em direção ao outro e passam um pelo outro chegando nas pessoas opostas aquelas que mandaram o pulso.	2
A7- Eles vão voltar para o seu ponto de partida.	0
A8- Quando houver o choque entre os dois pulsos eles irão parar de percorrer a	0

<i>corda.</i>	
A9- <i>Irá formar uma onda e emitir um som devido o encontro.</i>	0
A10- <i>Se chocam e voltam ao ponto inicial.</i>	0
A11- <i>Vai ocorrer que elas vão se bater porque elas vêm uma em direção da outra.</i>	0
A12- <i>Eles batem e voltam em menor tamanho.</i>	0
A13- <i>Acontecerá vibrações e eles seguem.</i>	1
A 14- <i>Formará uma onda.</i>	0
A15- <i>Formará uma onda perfeita, ou seja senoidal.</i>	0
A16- <i>Sofrerão redução ao se encontrar e em um determinado tempo elas irão parar.</i>	1
A17- <i>respondeu através de desenho</i>	1
A18- <i>Quando se cruzarem os dois pulsos vão se juntar e virar um só embora estejam em direções opostas.</i>	0
A19- <i>Um anula o outro.</i>	2
B1- <i>Ficariam no mesmo sentido.</i>	0
B2- <i>A corda vai parar totalmente.</i>	0
B3- <i>Formará uma onda só.</i>	0
B4- <i>Uma impedirá a passagem da outra.</i>	0
B5- <i>Um vai parar o outro.</i>	0
B6- <i>Quando os pulsos se cruzarem vai haver um impedimento.</i>	0
B7- <i>Um impedira que o outro avance, fazendo com que a corda volte ao normal.</i>	0
B8- <i>Quando elas se encontrarem as duas forças aplicadas farão com que os se juntem.</i>	0
B9- <i>Acontecera uma grande alteração pois os dos vão se juntar e ficará bem maior.</i>	0
B10- <i>Continuará da mesma forma.</i>	2
B11- <i>A corda volta ao normal, ou seja fica reta.</i>	1
B12- <i>Ficariam em forma de onda em uma mesma direção.</i>	0
B13- <i>Quando os pulsos se chocarem eles voltarão para a direção que foi impulsionado ou seja voltará.</i>	0
B14- <i>Esses pulsos passarão a não existir.</i>	0
B15- <i>Eles ficarão reto e não existirá mais o pulso.</i>	0
B16- <i>Os dois vão ter a mesma força então um termina com o outro.</i>	1
B17- <i>Vai parar porque não vai haver espaço na corda para ele continuar.</i>	0
B18- <i>A corda tem a tendência de parar, porque um está jogando o impulso para cima. O outro para baixo vai ter um impacto entre eles.</i>	1
B19- <i>Ao se cruzarem os pulsos formam um só para uma mesma direção.</i>	0
B20- <i>Os pulsos vão se desmanchar, porque uma impede a outra.</i>	1

Tabela C.5 Questão 1 (1ª linha) e respostas dadas pelos alunos das turmas A e B (demais linhas) no pós-teste. A segunda e terceira colunas contêm os escores atribuídos na avaliação referente aos conceitos de som e luz, respectivamente.

Questão 1/Respostas	escores	
Em inúmeros filmes de ficção científica, em cena de batalhas espaciais é possível ouvir estrondos quando uma nave atinge outra e também se vê a explosão das naves mesmo estando ambas no vácuo do espaço sideral. Seria possível ver e ouvir a explosão das duas naves caso um observador estivesse próximo do local onde ocorreu tal acontecimento?	s	l
	o	u
	m	z
A1- Poderíamos ver, mas ouvir o estrondo não, porque o som só se propaga com o ar.	2	2
A2- Podemos ver a explosão pois diferente do som a luz precisa de ar para se propagar, então não podemos ouvir a explosão pois o som depende do ar para se propagar e no espaço há vácuo.	2	2
A3- A pessoa vai ver mas não vai ouvir pois estão no vácuo.	2	2
A4- A explosão dá para ver por ser uma imagem. Não dá para ouvir o som porque ambos estão no vácuo. Quando se está no vácuo não se tem meio então não se ouve o som.	2	2
A5- Ver sim ouvir não pois está no vácuo ou seja sem ar.	2	2
A6- Pode-se ver pois a luz se propaga no vácuo já ouvir não pois o som não se propaga.	2	2
A7 – Não porque o som não se propaga no vácuo, mas a imagem sim.	2	2
A8- Não é possível ver e ouvir	0	2
A9 – é possível ver a explosão, mas não ouvir o som, pois eles estão no vácuo e o som não se propaga no vácuo.	2	2
A10 – Não poderia ouvir a explosão porque no espaço não tem vento, mas poderia ver.	2	2
A11 – o som não se propaga no vácuo, então a gente não ouve nada. Já a luz se propaga então nos vemos a imagem.	2	2
A12 – ouvir não seria possível porque não tem ar para a onda sonora se espalhar. Ver sim porque a luz não precisa de matéria para se locomover.	2	2
A13 – Ver sim ouvir não porque não há ar no vácuo.	2	2
A14 – O som não se pode ouvir, ele não se propaga no vácuo, mas é possível ver, pois a luz se propaga.	2	2
A15 – Seria possível ver, mas escutar não seria possível pois o som não se propaga no vácuo, e sabemos que o som precisa de um meio material (o ar) para se propagar.	2	2
A16- seria possível ver mas não ouvir, pois no vácuo não tem como existir som.	2	2
A17 – ver a explosão sim, mas ouvir o som não, pois eles estão no vácuo (no vácuo não se ouve som).	2	2
A18- A imagem dá para ver, mas já o som não dá para ouvir, pois está no vácuo, e no vácuo o som não se propaga.	2	2
A19- ouvir o som não seria possível, pois eles estão no vácuo onde não há ar e o som precisa de ar para se propagar. Já ver seria possível pois a luz não precisa de ar para se propagar.	2	2
B2- Sim mas primeiro nós veríamos o acidente e depois ouviríamos pois o espaço é muito grande e o som se propagou mais devagar.	0	2
B3- não respondeu	0	0
B4- é possível ver e ouvir	0	1

B5- Não porque o som se propaga pelo ar e no espaço não tem.	0	0
B6- Não é possível ouvir porque não tem meio. Ver também não.	2	0
B7- Não porque no vácuo não existe ar, então também não existe som.	2	0
B8- Sim mas para o som se propagar tem que haver um meio material e como eles estão no vácuo o som não se propaga, então não escutamos. Só podemos ver a nave que emite luz que atinge nossos olhos.	2	2
B9- Não, pois no vácuo não há som. Portanto, não ouviremos nenhum ruído.	2	0
B10- não.	0	0
B11 - Não se escuta, pois para que ela se propague é preciso que haja meio material. Para que possamos enxergá-la é necessário que ela tenha luz.	2	1
B12- Não pois no vácuo não há propagação do som.	2	0
B13- Não pois no vácuo não há propagação de som.	2	0
B14 – seria possível ver, mas ouvir não, porque as ondas sonoras não se propagam devido a ausência de ar.	2	2
B15- a pessoa pode ver mas não pode escutar o barulho porque existe vácuo daí o som não se espalha.	2	2
B16- dá para ver, mas ouvir não porque ambos estão no vácuo.	2	2
B17- Não porque o som se espalha no espaço.	2	2
B18- vai poder ver, mas ouvir não pois ambos estão no vácuo.	2	0
B19- Não porque no vácuo as ondas não se propagam.	2	0
B20 – Para que o som se propague é preciso de meio material. Não havendo ar e estando eles no vácuo, o som não poderia se propagar. Mas podemos ver a nave emitir luz.	2	2

Tabela C.6 Questão 2 (1ª linha) e respostas dadas pelos alunos das turmas A e B (demais linhas) no pós-teste. A segunda e terceira colunas contêm os escores atribuídos na avaliação referentes aos conceitos de onda transversal e longitudinal, respectivamente.

Questão 2/Respostas	escores	
O som é um exemplo de uma onda longitudinal. Uma onda produzida numa corda esticada é um exemplo de uma onda transversal. O que difere ondas mecânicas longitudinais de ondas mecânicas transversais?	L	T
A1- respondeu através de desenho	2	2
A2-longitudinal - A oscilação do ar é na mesma direção de propagação do som. Transversal- A oscilação é perpendicular a propagação da onda.	2	2
A3 – Ondas longitudinais= onda vai na mesma direção da movimentação do ar. Ondas transversais= a onda vai perpendicular a movimentação da corda.	2	2
A4 – longitudinais – se propaga na mesma direção da vibração do meio em que se encontra. Transversal - a onda se propaga em direção perpendicular a vibração do material.	2	2
A5- longitudinal- mesma direção tem a propagação e a vibração do material. Transversal - a onda se propaga perpendicularmente a vibração do material.	2	2
A6- respondeu através de desenhos	2	2
A7 – respondeu através de desenhos	2	2
A8- respondeu através de desenhos	2	2
A9 – longitudinal – se propaga na mesma direção da vibração do meio em que se encontra. Transversal – a onda se propaga perpendicularmente a vibração do meio em que se encontra.	2	2

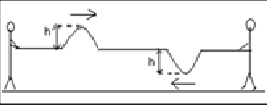
A10- respondeu através de desenhos	1	1
A11- respondeu através de desenhos	1	1
A12- respondeu através de desenhos	1	1
A13- respondeu através de desenhos	1	1
A14 – <i>onda longitudinal: se propaga na mesma direção de vibração. Onda transversal: se propaga em direção perpendicular a da vibração.</i>	2	2
A15- <i>onda longitudinal se propaga em direção ao meio em que se encontra. Onda transversal respondeu através de desenho</i>	1	2
A16- <i>longitudinal: ela precisa de uma frequência alta ou baixa para ir mais longe ou mais perto. Transversal: quando mais forte o pulso emitido, maior será a propagação da onda.</i>	0	0
A17- respondeu através de desenhos	1	1
A18- respondeu através de desenhos	1	1
A19- respondeu através de desenhos	2	2
B2- não respondeu	0	0
B3- respondeu através de desenhos	1	0
B4- respondeu através de desenhos	1	1
B5- <i>longitudinal se propaga pela vibração do ar, Transversal – se propaga pela vibração da corda;</i>	0	0
B6- <i>ondas mecânicas longitudinais vai e volta na mesma direção</i>	0	0
B7- <i>Ondas mecânicas longitudinais vai e volta em direções diferentes. Transversal - vai por cima e volta por baixo.</i>	0	0
B8- <i>Transversal – as partículas do meio (corda) vibram na direção perpendicular da propagação da onda. Longitudinal – as partículas do meio (ar) vibram na mesma direção de propagação fazendo que a onda se propague.</i>	2	2
B9 – <i>A onda longitudinal é uma onda sonora que se propaga no espaço. A onda transversal é uma onda que tem o seu limite num determinado espaço.</i>	0	0
B10 – <i>A onda longitudinal é uma onda sonora que espalha no ar. A onda transversal é uma onda que não se espalha fica apenas na corda.</i>	0	0
B11 – <i>transversal – as partículas vibram na direção perpendicular da propagação da onda. Longitudinal - as partículas do meio vibram na direção da onda.</i>	2	2
B12- – <i>longitudinal – vai e volta na mesma direção. Transversal – vai por cima e volta por baixo.</i>	0	0
B13 – <i>longitudinal - vai e vem na mesma direção e forma uma onda elíptica. Transversal – vai por cima volta por baixo.</i>	0	0
B14- respondeu através de desenhos.	1	0
B15- não respondeu	0	0
B16- respondeu através de desenhos	1	1
B17- respondeu através de desenhos	1	0
B18- respondeu através de desenhos	1	1
B19- respondeu através de desenhos	1	1
B20- <i>Transversal- as partículas do meio (corda) vibram na direção de propagação da onda que ocorre ao longo da corda. Longitudinal - as partículas do meio (ar) vibram na direção de que a onda se propaga</i>	0	2

Tabela C.7 Questão 3 (1ª linha) e respostas dadas pelos alunos das turmas A e B (demais linhas) no pós-teste. A segunda, terceira e quarta colunas contêm os escores atribuídos na avaliação referente aos conceitos de frequência, velocidade de propagação e comprimento de onda, respectivamente.

Questão 3/Respostas	escores		
	F	v	c
	r	e	o
	e	l	n
	q	o	p
Uma onda sonora propaga-se no ar com frequência, comprimento de onda e velocidade. Quando esta onda atinge a superfície de um lago, penetra no lago e continua a se propagar na água. Haverá alguma alteração (aumentará, diminuirá, ou não sofrerá alteração) na frequência, no comprimento de onda e na velocidade de propagação?			
A1- <i>Frequência não sofrerá alteração pois a fonte não é modificada, comprimento de onda aumentará e velocidade aumentará pois o meio que o som passou é mais tenso.</i>	2	2	2
A2- <i>o comprimento e a velocidade aumentarão e a frequência não muda devido a equação: $v=\lambda \cdot f$ então $f=v/\lambda$.</i>	2	2	2
A3- <i>Velocidade aumentará porque muda de meio menos tenso para um mais tenso, comprimento de onda aumentará e frequência não sofrerá alteração.</i>	2	2	2
A4- <i>Não sofrerá nem uma alteração.</i>	1	0	0
A5- <i>velocidade varia devido a água ser mais tensa, a frequência é constante e o comprimento de onda varia devido a velocidade ser maior.</i>	0	2	2
A6- <i>Velocidade aumentará porque muda de meio menos tenso para um mais tenso, comprimento de onda aumentará e frequência não sofrerá alteração.</i>	2	2	2
A7 - <i>Frequência é constante, o comprimento de onda aumenta e a velocidade aumenta.</i>	2	2	2
A8- <i>o comprimento aumenta a velocidade aumenta e a frequência fica a mesma.</i>	2	2	2
A9 – <i>como a água é mais tensa que o ar, quando passa do ar para a água a velocidade aumenta o comprimento de onda aumenta e a frequência se mantém.</i>	2	2	2
A10 – <i>o comprimento aumenta a velocidade aumenta e a frequência fica a mesma.</i>	2	2	2
A11 – <i>Frequência – constante, λ= aumenta, velocidade aumenta (tensão maior).</i>	2	2	2
A12 – <i>frequência = a mesma, velocidade=aumenta, comprimento de onda = aumenta.</i>	2	2	2
A13 – <i>como a água é um meio mais tenso que o ar, quando a onda passa do ar para a água aumenta a velocidade o comprimento de onda aumenta e a frequência se mantém. $V=f \cdot \lambda$</i>	2	2	2
A14- <i>A frequência é constante, varia a velocidade e o comprimento de onda.</i>	2	1	1
A15- <i>a frequência vai ser constante, o comprimento de onda e a velocidade irão aumentar.</i>	2	2	2
A16- <i>a frequência será constante, a velocidade irá aumentar e conseqüentemente o comprimento de onda também aumentará.</i>	2	2	2
A17- <i>devido a água ser mais tensa que o ar, o comprimento varia, a velocidade varia, mas a frequência continua a mesma.</i>	2	1	1
A18- <i>a frequência não se altera, a velocidade aumenta e o comprimento de onda também aumenta.</i>	2	2	2
A19 – <i>sua frequência continua a mesma, mas seu comprimento de onda e sua velocidade aumentam devido a água ser mais tensa que o ar.</i>	2	2	2

B2- A frequência diminuirá o comprimento será menor e a velocidade a mesma.	0	0	0
B3- Na água o som pode propagar mais rápido que no ar. Seu comprimento de onda também aumenta.	0	2	2
B4- Ela terá a frequência mais lenta.	0	0	0
B5- Diminuirá.	0	0	0
B6- sim porque o som não consegue se propagar numa extremidade fechada, devido a uma interferência que ocorre.	0	0	0
B7 – A frequência e a velocidade diminuirão, e o comprimento de onda aumentará.	0	0	2
B8- Na água o som se propaga mais rápido que no ar.	0	2	0
B9- A onda quando chegar na água diminuirá a velocidade de propagação.	0	0	0
B10 – haverá alteração a frequência diminuirá.	0	0	0
B11 - O som se propaga mais rápido na água do que no ar, sua velocidade no líquido é maior. Nesse caso aumentará o comprimento de onda.	0	2	2
B12 – frequência – diminui, comprimento de onda- aumenta, velocidade de propagação – diminui.	0	0	2
B13- – frequência – não muda, comprimento de onda- aumenta, velocidade de propagação – aumenta.	2	2	2
B14- A frequência permanece a mesma, mas o comprimento de onda e a velocidade vão diminuir.	2	0	0
B16 – a frequência diminuirá.	0	0	0
B17 – a frequência diminuirá.	0	0	0
B18- a frequência diminuirá, a velocidade e o comprimento de onda aumentarão.	0	2	2
B19 – frequência não sofrerá alteração, comprimento de onda e velocidade diminuirão.	2	0	0
B20 – Na água o som se propaga mais rápido que no ar. A frequência diminui.	0	2	2

Tabela C.8 Questão 4 (1ª linha) e respostas dadas pelos alunos das turmas A e B (demais linhas) no pré-teste. A segunda coluna contém os escores atribuídos na avaliação referente ao conceito de superposição de pulsos.

<p>Uma corda é esticada por duas pessoas pelas extremidades, e cada uma envia um pulso na direção da outra. Os pulsos têm o mesmo formato, mas estão invertidos como mostra a figura. O que ocorrerá com os pulsos quando se cruzarem?</p> 	
A1 - Elas se subtraem quando se encontram e continuam o seu percurso como se nada aconteceu.	2
A2-tem-se uma interferência destrutiva quando uma passa pela outra e continua seu caminho.	2
A3 - vai acontecer uma interferência destrutiva quando duas ondas se encontram.	2
A4- Quando se cruzam os pulsos serão isolados.	0
A5- Elas se subtraem (somem) depois continuam o seu caminho.	2
A6-Elas se subtraem quando se encontram e depois seguem o mesmo sentido que já estavam seguindo, sem sofrer alterações.	2
A7 – quando elas se cruzam vão diminuir sua amplitude.	2
A8- Elas irão interferir destrutivamente quando se encontrarem e depois continuarão seus percursos normalmente.	2

A9 – se subtraem quando se encontram e seguem após sem inversão.	2
A10 – vai ocorrer uma força destrutiva e depois vão continuar iguais como foram enviadas.	2
A11- Há uma interferência destrutiva, então quando elas se encontram elas se subtraem, diminuindo a amplitude.	2
A12- Ocorre uma força destrutiva, e depois vão continuar iguais.	2
A13- Elas se subtraem quando se encontram e depois seguem o mesmo sentido que já estavam seguindo, sem sofrer alterações.	2
A14- Se subtraem.	1
A15- os pulsos irão se subtrair quando se encontrarem e depois continuar seus respectivos percursos.	2
A16- elas se subtraem e continuam o percurso normalmente.	2
A17- quando passam uma pela outra se subtraem, depois seguem normal.	2
A18- Elas irão interferir destrutivamente quando se encontrarem e depois continuarão seus percursos normalmente.	2
A19 – eles diminuirão quando se encontrarem e depois seguirão seus cominhos com o mesmo formato que tinham antes do encontro.	2
B2- Vai se formar uma onda construtiva.	0
B3- respondeu através de desenhos	0
B4- Ocorrerá uma subtração, depois continuam sua trajetória.	2
B5- Vão se fundir e depois vão voltar ao seu curso normal.	1
B6-não respondeu	0
B7-os dois se anularão quando se encontrarem, e depois continuam normalmente como antes (cada um no seu sentido de direção)	2
B8- quando elas se encontram elas vão se destruir e depois seguem seu caminho.	2
B9 – Os pulsos vão se somar e depois seguirão em lados contrários (o pulso de baixo vai para cima e o pulso de cima segue por baixo)	0
B10 – Eles irão se cruzar e continuar sua trajetória.	1
B11 – Eles se encontram e corda fica em linha reta em linha e logo após seguem seus caminhos.	2
B12- formam um só e volta cada um no seu sentido de propagação.	2
B13- quando os pulsos se encontrarem eles se desmancharão e depois seguem na direção em que estavam.	2
B14 – respondeu através de desenhos	1
B15- quando se encontrarem a corda ficará reta e depois seguirão seus caminhos.	2
B16- se subtraem depois seguem normal.	2
B17- respondeu através de desenhos	2
B18- Elas se encontram a corda fica reta, depois voltam ao normal.	2
B19 - respondeu através de desenhos	0
B20 – elas se encontram e se destroem (destrutiva) e depois voltam ao seu caminho normal, como se nada tivesse acontecido.	2