

Proposta de sequência didática aplicando um monocórdio e o uso de elementos musicais perceptuais como estruturantes para o ensino de conceitos de física ondulatória.

ANDRÉ LUÍS MIRANDA DE BARCELLOS COELHO*

ANTONY MARCO MOTA POLITO†

Universidade de Brasília

Resumo

Nesse trabalho, apresentamos uma proposta de sequência didática para o ensino de conceitos básicos de física ondulatória em turmas de segundo ano do Ensino Médio. Utilizamos elementos musicais perceptuais como alicerces sobre os quais desenvolvemos os conceitos físicos abstratos de comprimento de onda, frequência de oscilação, período de oscilação e velocidade de propagação de uma onda. Toda a sequência se articula em torno da utilização de um monocórdio (construído com materiais de baixo custo) no laboratório de física. Exploramos o funcionamento de um violão para introduzir um monocórdio e tornar significativa a aprendizagem dos conceitos físicos partindo de subsunçores pré-identificados. Observamos através dos dados coletados em laboratório que, ao utilizar a música como elemento estruturante na construção de conceitos físicos abstratos, os alunos demonstram mais interesse em aprender e apresentaram resultados mais satisfatórios nas avaliações.

Palavras-chave: Física ondulatória, Música e física, Aprendizagem significativa, Monocórdio, Laboratório de física.

I. INTRODUÇÃO

Ainda hoje, temos um Ensino Médio em formação. Por um lado, as políticas públicas das últimas duas décadas que buscaram a democratização do acesso a esse segmento foram bem-sucedidas e,

atualmente, há um esforço razoável por parte das instituições de ensino objetivando a melhoria da qualidade do serviço prestado. Por outro lado, há uma evidente dificuldade na articulação dos esforços das diferentes esferas envolvidas no problema, especialmente na tentativa de implementar, de fato,

*Mestre em Ensino de Física. Atua como professor na Secretaria de Educação do Distrito Federal, além de em escolas particulares de Brasília. Endereço de e-mail para contato: prof.barcellos@hotmail.com

†Professor Adjunto do Instituto de Física da Universidade de Brasília. Doutor em Física, na área de Física Estatística. Atualmente, trabalha com História e Filosofia da Física e com Ensino de Física, no âmbito do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (SBF) – IF–UnB.

os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) em sala de aula [1].

Com a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), de dezembro de 1996, o governo federal investiu esforços para caracterizar o Ensino Médio como etapa final da formação básica, tendo como objetivo a consolidação da formação geral do estudante. Para contribuir com essa reforma, foram elaborados, em 1999, os PCN. Neles, está previsto que diversos temas, antes segmentados, agora devem ser interdisciplinares, visando a construção de competências e habilidades em detrimento da focalização unicamente no conhecimento em si.

Portanto, é imperativo para a consolidação desse plano, no âmbito do Ensino Médio, que os docentes e a escola estejam cientes da necessidade de trabalhar seus conteúdos de maneira a contribuir para a formação dessas competências e habilidades. Contudo, apesar da significativa melhora, a partir do início dos anos 2000, ainda observamos um Ensino Médio descaracterizado, centrado nos conhecimentos por si e pouco interdisciplinares [2].

Sensível a essas questões, nosso trabalho propõe um *produto educacional*¹ para o ensino dos conceitos fundamentais da física ondulatória. Buscamos implementar algumas das orientações dos PCN em uma sala de aula do segundo ano do Ensino Médio. Sobre o ensino de física, na página 22, os PCN dizem:

“[A Física é um conhecimento...] incorporado à cultura e integrado como instrumento tecnológico, esse conhecimento tornou-se indispensável à formação da cidadania contemporânea. Espera-se que o ensino de Física, na escola média, contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação o ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transforma-

ção.”

Essa ideia nos motivou a eleger o tema *física ondulatória* como objeto de trabalho, pois os fenômenos ondulatórios, apesar de atualmente muito presentes no cotidiano das pessoas, nem sempre são compreendidos de maneira adequada, pelo menos não pela maior parte dos alunos que passam pela formação habitualmente fornecida pelo Ensino Médio [3 e 4].

Ainda na página 22, lemos, nos PCN: *“Para tanto, [...] É necessário também que essa cultura em Física inclua a compreensão do conjunto de equipamentos e procedimentos, técnicos ou tecnológicos, do cotidiano doméstico, social e profissional”*.

Desde a concepção inicial do nosso trabalho, estávamos convictos de que, no contexto do Ensino Básico, é fundamental o desenvolvimento de atividades experimentais, sobretudo porque a física é, antes de mais nada, uma ciência empírica. Evidentemente, isso não significa que seja estritamente necessário que sempre haja atividades experimentais para ensinar conceitos de física.

Em face disso, acreditamos que uma estratégia para ensinar apropriadamente os conceitos básicos de física ondulatória seria trazer o experimento para dentro da sala de aula. Todavia, se o objetivo é veicular o aprendizado de conceitos de física, não podemos nos restringir a efetuar apenas experimentos demonstrativos, pois eles tendem a não passar de uma mera transposição dos modelos ideais, encontrados nos livros-texto, para uma situação concreta. Uma mera demonstração experimental raramente permite que as especificidades da situação concreta contribuam efetivamente para que os conceitos físicos sejam mais bem aprendidos. Para que tais especificidades se tornem aliadas em um processo de *aprendizagem significativa* – no contexto da teoria ausubeliana [5 e 6] – acreditamos que é

¹Produtos educacionais são materiais didático-pedagógicos que intentam propor ações educacionais no âmbito de sala de aula.

preciso que os experimentos sejam efetivamente manipulados pelos alunos.

Evidentemente, essa manipulação não pode ser mera reprodução daquela que seria efetuada pelo professor, em um experimento demonstrativo. É preciso ir um pouco além. Em geral, a manipulação, pelos alunos, só permitirá uma efetiva aprendizagem conceitual se ela estiver associada às atividades de medição, registro e descrição matemática (tabelas, gráficos, funções) dos fenômenos evidenciados na experiência. Caso contrário, corre-se o risco de que essas atividades degenerem em meras atividades lúdicas.

II. A DICOTOMIA QUALITATIVO / QUANTITATIVO NO ENSINO DE FÍSICA.

Por trás dessa maneira de conceber a atividade didática, encontra-se o fato de que, ao contrário do que se tornou relativamente habitual defender, em alguns contextos, a dicotomia entre *conceitual* e *matemático* é, flagrantemente, falsa. A matemática não é elemento essencial apenas na *definição* do conceito, mas, principalmente, na sua *estruturação*. É possível, é claro, sustentar uma dicotomia entre uma abordagem qualitativa e uma quantitativa dos fenômenos naturais, mas, no que se refere ao conceito físico, ele agrega, necessariamente, tanto elementos qualitativos, quanto elementos quantitativos [7].

Aparentemente, com essa abordagem, novos obstáculos tendem a aparecer. O mais evidente deles está relacionado com o grau de capacidade para a operacionalização da própria matemática, mas há, também, aqueles envolvidos com a pouca familiaridade dos alunos com procedimentos envolvendo a manipulação de instrumentos de medida, bem como a interpretação das unidades e das dimensões concernentes. Acredita-se, em geral, que

a maioria dos alunos do Ensino Médio são mal preparados para operar com a matemática de maneira contextualizada (e muitas vezes, até não contextualizada). Essa, talvez, seja a principal razão pela qual um bom número de professores de física acaba aderindo à dicotomia qualitativo/quantitativo. Isso significa que se adota, habitualmente, uma de duas propostas: ou se prefere descrever uma classe de fenômenos naturais de maneira simplesmente qualitativa, tratando-os, no máximo, de maneira simplificada ou incompleta, ou se prefere reduzi-los a uma mera instância para a aplicação e a manipulação de fórmulas, cujo significado perde-se quase completamente no processo de sua computação.

A raiz do problema talvez esteja na forma como os currículos de matemática foram construídos, balizados pela ideia moderna de que a matemática é, antes de tudo, um sistema formal, cujo vínculo com a realidade se dá apenas em um segundo momento, no âmbito de suas (possíveis, mas não necessárias) aplicações. O fato de que a matemática se defina dessa forma, entretanto, não implica, necessariamente, que ela deva ser ensinada dessa forma.

É, aparentemente, um consenso, até mesmo entre os professores de matemática, que a adesão irrestrita àquela ideia os levou a ensinar a matemática de maneira puramente algorítmica, como um conjunto de regras operativas abstratas, à revelia da realidade concreta, o que tem provocado, nos estudantes, uma antipatia ao seu aprendizado. Não há dúvidas de que, do ponto de vista do ensino de física, isso compromete o desenvolvimento pleno dos seus conceitos [8].

Evidentemente, não se trata, aqui, de defender que o professor de física deva passar a ensinar matemática, mas ele deve tentar escapar da dicotomia qualitativo/quantitativo. Ele não deve fugir da aplicação da matemática, mas não deve aderir a ela deixando que os problemas de física se tornem apenas problemas de matemática. Acreditamos que a estratégia didática que envolva participação ativa

do estudante em procedimentos experimentais seja a mais viável para alcançar esse objetivo.

Tendo em vista as dificuldades inerentes ao ensino de conceitos de física ondulatória e o seu relativamente elevado grau de abstração, nos propusemos a conceber um produto educacional que tivesse maior conexão com contextos concretos (cotidianos) e que apresentassem um potencialmente elevado grau de apelo intuitivo e motivacional. Um exemplo disso é a música [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 e 19]. Adicionalmente, ela permite uma abordagem prática que se compatibiliza com o nosso interesse pela estratégia experimental. Nesse sentido, um produto educacional que seja capaz de aliar física, música, matemática, teoria e experimentação pode, se bem idealizado e confeccionado, mostrar-se um bom instrumento didático-pedagógico. Essa ideia é o cerne desse trabalho.

Como já mencionado, utilizamos a música não apenas com objetivos motivacionais. Fundamentando nossa proposta na *Teoria da Aprendizagem Significativa* de Ausubel, procuramos lançar mão do conceito de *subsunção*² e utilizar conceitos musicais preexistentes como estruturas sobre as quais desenvolver conceitos físicos. A figura 1 mostra, esquematicamente, quais foram os subsunções utilizados em nossa proposta de produto educacional e suas relações com os conceitos físicos abstratos de comprimento de onda, frequência, período de oscilação e velocidade de propagação de uma onda.

Além disso, música é algo com que os alunos convivem e apreciam. Assim, ela nos parece fornecer também um excelente motivador para o ensino de física. Pensando nisso, sugerimos que, sempre que for possível (e conveniente), se tente descre-

ver fisicamente – ou seja, fenomênica e matematicamente – os fenômenos sonoros observados na prática da música. Para que não corramos o duplo risco de tornar a descrição dos conceitos ainda mais inacessível, já que não são todos os alunos que conhecem a linguagem musical propriamente dita (partituras e símbolos musicais), ou de desviarmos o foco da aprendizagem do conceito físico para o aprendizado de teoria musical (que não é o nosso objetivo), devemos ser cuidadosos para que a música (e seus conceitos) seja(m) utilizada(s) apenas como substrato concreto para a instanciação do fenômeno físico, que é a produção e a propagação da onda sonora. O estudo da acústica, nesses termos, passaria a ser, também, um modo de instanciar conceitos abstratos que podem ser transpostos para o contexto de outros fenômenos ondulatórios, como o das ondas eletromagnéticas.

Evidentemente, por tratar-se da utilização da prática musical – por exemplo, uma composição específica que esteja sendo efetivamente reproduzida, ao vivo –, é indicado que os conceitos de física ondulatória sejam trabalhados a partir do funcionamento de instrumentos musicais, o que permite um tratamento experimental.

Articulamos nosso produto educacional em torno de uma atividade experimental centrada em explorar o funcionamento de um violão. Como não dispúnhamos de muitos recursos financeiros, esta atividade deveria ser de baixo custo e utilizando materiais de fácil acesso. Após alguma pesquisa, elegemos o monocórdio³ como instrumento musical de estudo para os alunos. Depois de pensarmos em construir o modelo do monocórdio pitagórico original, chegamos a um modelo simplificado bastante interessante onde não só é possível medir di-

²Subsunções, na teoria ausubeliana, são conceitos pré-existentes ao processo de aprendizagem que funcionam como "ganchos" sobre os quais serão "pendurados", e eventualmente integrados, os novos conhecimentos, na estrutura cognitiva.

³O monocórdio pitagórico foi um instrumento que consistia em uma corda esticada entre dois cavaletes fixos e, entre eles, um cavalete móvel que modificava o tamanho da corda vibrante fazendo com que ela pudesse emitir sons mais agudos quanto menor fosse a distância entre o cavalete móvel e o fixo.

retamente a frequência de oscilação, mas também é possível regular a tensão exercida sobre a corda vibrante. Com esse aparato simples, formulamos uma atividade prática bastante rica, onde abordamos, inclusive, alguns conceitos de acústica. Para auxiliar essa atividade experimental, fizemos uso de alguns equipamentos eletrônicos de uso individual dos alunos. Celulares e "tablets" foram usados como frequencímetro e foram essenciais para o sucesso da prática. De fato, a utilização de tecnologias como ferramentas auxiliares na prática docente é cada vez mais comum e vem se mostrando eficaz [20, 21, 22, 23, 24, 25, 26].

III. DESCRIÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Esse trabalho é fruto do desenvolvimento de um produto educacional no Mestrado Profissional de Ensino de Física. Ele se baseia na hipótese de que elementos musicais perceptuais podem ser estruturantes e subsunçores no aprendizado de conceitos de física ondulatória.

Os conceitos musicais de que nos utilizamos foram os de *consonância* e *dissonância*⁴ e os de sons agudos e graves. Nossa hipótese inicial era de que todos eles estavam já disponíveis como conhecimento prévio (intuitivo) dos alunos. Essa hipótese foi verificada em um teste de sondagem, que explorou a associação dos subsunçores com as respectivas percepções auditivas. Além disso, a existência dos subsunçores foi reverificada, na primeira aula expositiva. Só então desenvolvemos o restante da sequência didática apresentada nesse trabalho, de tal forma que acreditamos que esses subsunçores,

de fato, constituem bases sólidas sobre as quais uma sequência didática com os mesmos propósitos que os nossos pode ser construída.

Assim, o referido produto educacional constitui apenas uma possível maneira de desenvolver a aprendizagem de conceitos de física ondulatória partindo de elementos musicais intuitivos. Encorajamos o desenvolvimento de outras práticas que utilizem esses subsunçores e, também, de outros *organizadores prévios*⁵ além daqueles utilizados por nós. Na figura 1, de forma esquemática, mostramos a progressão desses conceitos em termos da teoria de Ausubel.

A sequência didática foi estruturada em sete aulas e objetiva introduzir conceitos básicos de ondulatória a alunos do 2º ano do Ensino Médio. Os conceitos, aqui classificados como básicos, que foram escolhidos são: comprimento de onda, frequência e período de oscilação de uma onda e velocidade de propagação de uma onda. De forma adjacente, também foram trabalhados os seguintes conceitos: formas de propagação das ondas, tipos de ondas e velocidade de propagação de uma onda em uma corda de extremidades fixas, em função da tensão a que ela é submetida. Como já mencionado, utilizou-se um método didático-pedagógico baseado na teoria de Ausubel [5], na experimentação como instrumento de letramento científico [4] e nos indicativos de que o uso de tecnologias podem ser facilitadores na aprendizagem de ciências [13].

Como atividades avaliativas, usamos um pós-teste baseado no teste de sondagem realizado no início da atividade, os mapas conceituais desenvolvidos por cada aluno ao longo da sequência didática e as respostas dadas às perguntas do roteiro experi-

⁴Deixamos claro que os conceitos de consonância e dissonância que identificamos que eram conhecimentos prévios dos alunos eram conceitos primitivos, ou seja, intuitivos, sem nenhuma definição formal.

⁵Organizadores prévios são materiais introdutórios apresentados antes do material de aprendizagem em si. Contrariamente a sumários que são, de um modo geral, apresentados ao mesmo nível de abstração, generalidade e abrangência, simplesmente destacando certos aspectos do assunto, organizadores são apresentados em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade [27].

mental. Nosso objetivo com isso era diversificar o máximo possível à avaliação para que fosse possível verificar indícios de aprendizagem significativa, em acordo com a prescrição ausubeliana, segundo a qual as avaliações devem ser capazes de discernir a aprendizagem significativa da mecânica.

I. MATERIAL DIDÁTICO PRODUZIDO

No endereço bit.ly/ondulatoria⁶, encontra-se o site que desenvolvemos para centralizar e organizar as atividades previstas para a sequência didática proposta. Nele, encontra-se o cronograma das aulas, os materiais didáticos utilizados, o teste de sondagem, com os áudios necessários para sua realização, o material de apoio, contendo diversas referências e simulações interessantes sobre o tema, além de uma enquete avaliativa do produto educacional.

Para cada encontro foi produzido um material didático específico. O primeiro a ser utilizado foi uma lista de exercícios sobre os conceitos de período, frequência, tipos de propagação e definição de onda e pulso. Nela, encontram-se situações-problema, questionamentos diretos sobre os conceitos abordados e propostas de pesquisa individual sobre conceitos não trabalhados em sala de aula. As situações-problema dessa lista buscam explorar a capacidade do aluno de relacionar os conceitos trabalhados em sala de aula com situações inusitadas. Dessa forma, incentivou-se o senso crítico e a relevância do que foi exposto nos encontros. Além disso, pedimos a construção de um mapa conceitual⁷ sobre o que foi aprendido, cujo objetivo foi o de hierarquizar os conceitos básicos de física ondulatória de maneira pudesse ficar claro, para os estudantes, a relação entre eles.

Foram produzidos dois roteiros experimentais: um para que o aluno se preparasse para a realização da atividade experimental e outro que serviu para conduzir a sua realização propriamente dita. O roteiro pré-experimental oferece uma descrição do que vai ser desenvolvido em laboratório, quais instrumentos serão usados, além de uma breve explicação teórica sobre os conceitos físicos a serem abordados na prática e que pretende funcionar como um organizador prévio. Ao final desse roteiro, há um questionário avaliativo cujo objetivo principal é garantir que a sua leitura seja efetivamente realizada, ou seja, que a função de organização prévia seja efetivamente alcançada.

O roteiro experimental detalha, em três partes, o que deve ser feito no laboratório. Em formato de passo a passo, acompanhados por exemplos de tabelas e de resultados fictícios, os alunos puderam desenvolver a atividade sem muita interferência do professor. Como o objetivo dessa atividade era permitir a manipulação efetiva do aparato experimental pelos alunos e levá-los a tirar conclusões baseadas no roteiro pré-produzido pelo professor, este cumpriu tão somente o papel de mantenedor do bom andamento da atividade, interferindo o mínimo possível na prática dos alunos. Vale ressaltar que esse roteiro já estava disponível no site desde o início da sequência didática.

II. FERRAMENTAS DA INTERNET

Disponibilizamos cinco links como material de apoio, três deles efetivamente utilizados em nosso produto educacional, enquanto que os outros dois serviram como curiosidades/aprofundamento sobre o tema. Os três links para materiais utilizados na sequência são para:

- o *software* gratuito CmapTools, utilizado

⁶Este site foi desenvolvido utilizando a ferramenta gratuita Google Sites. Endereço completo: <https://sites.google.com/site/introducaoondulatoria>

⁷Esses mapas foram utilizados pelos alunos como consulta para a realização do teste final.

para produzir os mapas conceituais de maneira simples. Os alunos não foram obrigados a usar esse *software*, já que, se preferissem, poderiam fazer os mapas a mão.

- o acesso à simulação “Ondas em uma Corda” do PHeT Colorado[28]. Essa simulação foi utilizada na aula expositiva, mas foi pedido aos alunos, em duas ocasiões (na segunda aula e no roteiro pré-experimental), que eles explorassem essa simulação afim de compreender seu mecanismo de operação.
- o acesso ao aplicativo para celular e “tablet”Guitar Tuner[29]. Esse aplicativo foi utilizado para fazer com que os equipamentos dos alunos funcionassem como frequencímetro na atividade experimental.

Utilizamos dois *softwares* nas aulas expositivas (aula dois e três), o WavePad Audio Editing e o PitchPerfect Musical Instrument Tuner⁸[30], e em no laboratório, o Guitar Tuner. Esse último foi utilizado pelos próprios alunos na atividade laboratorial, já que ele é um aplicativo que transforma um celular ou “tablet”em um frequencímetro (cuja qualidade depende da qualidade do aparelho). Os outros dois foram utilizados pelo próprio professor, na primeira aula, para analisar o comportamento de uma corda vibrante. O WavePad Audio Editing é um *software* que representa os sons captados através de ondas transversais e o PitchPerfect representa esses sons através das frequências de oscilação da corda.

Utilizar o WavePad Audio Editing foi particularmente interessante, pois foi muito fácil mostrar aos alunos a relação que existe entre comprimento de onda e frequência de oscilação, para uma onda que se propaga com velocidade constante, em uma corda de extremidades fixas. Além de mostrar muito claramente as diferenças entre sons agudos

e graves. Após essa exposição, o PitchPerfect nos serviu para associar a imagem pictográfica de uma onda transversal a um número que facilmente foi compreendido como a frequência de oscilação de uma onda.

III. O MONOCÓRDIO

Como já mencionado, toda a sequência se articula em torno da utilização de um monocórdio, projetado e construído especificamente para esse produto educacional. Ele acabou por resultar em um aparato experimental de simples manipulação pelos alunos e com potencial exploratório sobre o comportamento de uma corda oscilante de extremidade fixas. Em nossa montagem, o monocórdio possibilita o estudo simultâneo de dois segmentos de cordas de tamanhos distintos e proporcionais (um para dois), cuja tensão pode ser regulada e conhecida. Dessa forma, é possível evidenciar as relações existentes entre a velocidade de propagação da onda, os comprimentos de onda e as frequências de oscilação.

O aparato completo constitui-se de uma base retangular de madeira que sustenta três parafusos com argola (vide Figura 2). Como a distância entre eles não é a mesma, obtemos dois segmentos de cordas com comprimentos desiguais (indicados pelos números três e quatro na foto). Através dessas argolas, passa-se uma corda de violão. Uma das extremidades fica presa a uma argola, enquanto a outra extremidade é fixada em um reservatório (indicado pelo número 1 na Figura 2). Nesse reservatório, há um orifício (indicado na foto pelo número 2) que permite que o reservatório seja preenchido com facilidade. Também contamos com uma caixa de ressonância (indicado pelo número 5) que objetiva tornar o som, emitido pelo segmento de corda maior, mais preciso do ponto de vista de sua captação pelo frequencímetro.

⁸Ambos podem ser encontrados no site da NCH: <http://www.nch.com.au/>

Ao preencher o reservatório com água, podemos fazer uma boa aproximação em relação ao peso que este exerce sobre a corda⁹. Assim, podem-se realizar medidas de frequência para diversas tensões diferentes. Essa é, em síntese, a atividade experimental proposta nesse produto educacional.

Com esse aparato também é possível explorar o significado e a função de uma caixa de ressonância. Ela tem a função de tornar o som mais nítido para o frequencímetro, já que ela reflete as diversas ondas sonoras emitidas pela corda, que viajam em direções diversas, “concentrando-as” em uma região menor. A caixa de ressonância foi particularmente útil na aplicação do produto educacional, pois o ambiente onde foi realizada a atividade experimental era razoavelmente barulhento. Em um ambiente silencioso, essa caixa é dispensável.

A proposta que apresentamos tem largo potencial para melhoras significativas. Em nossos projetos iniciais, estava prevista a existência de um cavalete móvel que permitisse variar o comprimento da corda vibrante, mas, infelizmente, por questões práticas, ainda não foi possível realizar essa construção. A presença desse cavalete móvel permitiria ao aluno explorar ainda mais profundamente o funcionamento de um violão, o que serviria como suporte para discussões sobre os vários harmônicos produzidos em uma corda com extremidades fixas, além de permitir uma mais completa observação da consonância e da dissonância perceptuais. Evidentemente, isso implicaria algumas modificações no roteiro experimental.

⁹No roteiro disponível para os alunos, foi sugerido que isso fosse feito da seguinte forma: considerando a densidade da água igual a $1g/cm^3$ e conhecendo o volume de água dentro do reservatório, determinamos a massa de água ali presente. Admitindo a aceleração da gravidade local como aproximadamente $9,8m/s^2$, usa-se $P = m.g$ para determinar o peso do reservatório. Esse é equilibrado pela força de tensão da corda que, em módulo, é igual ao peso.

IV. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Ao longo da aplicação de nosso projeto, recolhemos materiais para posterior análise. Desde impressões pessoais e opiniões dos estudantes sobre as atividades, até gráficos, tabelas e mapas conceituais. Todo esse material nos serviu para ponderar sobre as qualidades e defeitos do produto educacional em questão, porém, de forma alguma, ambicionamos validar o produto educacional no sentido de determinar de maneira definitiva seu desempenho no que se refere a ganhos de aprendizagem ou algo semelhante, pois não temos dados estatísticos o suficiente, nem confiáveis o suficiente, para alcançarmos tais conclusões.

I. ANÁLISE DO TESTE PRÉVIO

O teste prévio foi produzido utilizando uma ferramenta gratuita oferecida pelo Google, chamada GoogleForms, não só pela facilidade de uso e confecção do material, mas pelo impacto positivo que aparentemente há na aprendizagem dos alunos ao utilizarmos esse tipo de recurso no ensino.

Nesse teste, estávamos interessados em investigar e identificar o que já era conhecido pelo aluno em relação a suas habilidades instrumentais/ operacionais, ao conhecimento rudimentar de música e sobre conceitos físicos que seriam desenvolvidos no projeto. As questões foram escritas de tal forma a deixar clara a intenção dos questionamentos, mas usando uma linguagem que cremos ser acessível a um aluno do 2º ano do ensino médio. Com isso, objetivamos identificar sobre qual base poderíamos edificar os novos conhecimentos sobre física ondulatória e, em minha análise, tivemos sucesso nesse

objetivo. Essa etapa é fundamental, segundo Ausubel, para construir um processo onde haja aprendizagem significativa, pois novos conhecimentos só serão corretamente integrados à estrutura cognitiva do aprendiz, de modo hierárquico e categórico, se partirem de subsunçores presentes nessa estrutura.

Para atingir esse objetivo, foi necessário identificar, ainda antes do teste prévio, qual seria o nível da linguagem mais apropriado para a sua confecção assim como utilizado nas aulas. Da mesma forma, também identificamos antes do teste prévio quais exemplos a serem citados seriam significativos, do ponto de vista experiencial, para os alunos. Identificamos, por exemplo, que sons altos e baixos não significavam para eles sons agudos e graves, mas sons de grande e baixa intensidade sonora. Sons graves e agudos para eles eram sons “finos” e “grossos”. Após reconhecer uma linguagem que julgamos apropriada, o professor pôde conduzir suas aulas de forma a intermediar o ganho conceitual dos alunos, ao migrar de uma linguagem que poderíamos classificar como de senso comum para uma mais técnico-científica.

De maneira geral, esta atividade surtiu um efeito positivo na percepção dos alunos em relação ao conteúdo que seria estudado. Logo quando acessaram o site desenvolvido para nosso projeto, eles perceberam que as aulas que viriam não seriam como as que eles habitualmente assistem. Alguns alunos trataram de explorar o site (que tem diversas referências e materiais complementares), o que me pareceu um sintoma de entusiasmo em relação a esse projeto.

II. ANÁLISE DAS AULAS EXPOSITIVAS

Nas aulas expositivas, tentamos nos evadir do formato tradicional em virtude da natureza específica do nosso produto educacional. Apesar de não conseguirmos abrir mão completamente de uma

aula expositiva, introduzimos nela interações com objetos comuns do cotidiano dos estudantes e utilizamos diversas ferramentas tecnológicas para nos auxiliar a estudar esses objetos. É importante salientar que a utilização dessas aulas expositivas não tradicionais e as ferramentas (de diversas naturezas) que as compõem são parte integrante da proposta do nosso produto educacional. Com isso, propiciamos um ambiente de descoberta possível para o aluno, bem diferente de uma aula tradicional que dificulta (ou até impossibilita) a investigação dos fenômenos físicos estudados, por afastá-los de objetos ordinários ou fenômenos conhecidos. Além disso, exploramos a íntima relação que a física tem com a música [20], o que trouxe não só um elemento motivacional, mas também um tom mais prático para um conhecimento que pode parecer, sem o devido tratamento, um conhecimento insosso.

Especificamente na aula dois, para cumprir o papel de facilitador na aprendizagem, utilizamos um violão e uma corda de poliéster comum. Ao apresentar o violão, imediatamente os alunos voltaram sua atenção ao professor, o que possibilitou a participação de alguns alunos que nunca tinham participado de uma aula de física, ativamente, nessa turma. O ganho de utilizar esses objetos concretos em sala de aula foi refletido em algumas falas dos alunos, registradas na avaliação do projeto feita por eles, ao final da sequência didática. Na ocasião, ao serem perguntados se eles aprenderam mais com esse projeto do que em aulas tradicionais, alguns responderam:

- Aluno X: “Sim. Porque foi mais dinâmico e eu aprendo mais na prática do que na teoria.”.
- Aluno Y: “Sim. Acredito que o conteúdo de ondulatória esteja bastante ligado a conceitos visuais, como por exemplo, comprimento de ondas (o que nos ajuda a diferenciá-la de

frequência), e também atividades lúdicas relacionadas a audição ajudam a diferenciar conceitos de grave e agudo que se aplicam em diversos aspectos desta matéria.”

- Aluno Z: “Sim. Por que é mais uma interação, mais uma dinâmica para que não fiquemos somente na teoria de sala de aula!”.

É evidente que esses alunos não têm capacidade de avaliar a prática no que se refere o escopo de sua validade pedagógica no ensino de física, mas essas percepções reforçam o benefício de trazer para a sala de aula situações e objetos da vida cotidiana e fazê-los objetos de estudo sério.

III. ANÁLISE DA PRÁTICA EXPERIMENTAL

Essa prática, dentro da sequência didática, foi a mais surpreendente para o primeiro autor desse trabalho, pois alguns resultados e comentários dos alunos foram completamente não previstos por nós. Ela foi idealizada com o intuito de facilitar a relação entre os conceitos teóricos e objetos cotidianos, dando ao estudante uma sensação de utilidade para aqueles conhecimentos.

Os estudantes dispunham de dois textos relativos à experiência, um para ser lido e resolvido antes da experiência e outro que foi utilizado no laboratório. Esses materiais foram desenvolvidos baseados nos subsunçores identificados nas atividades anteriores. Ademais, já sabíamos que o ambiente de laboratório de física era completamente novo para esses alunos e aproveitamos isso para verificar indícios de aprendizagem significativa, o que, de fato, aconteceu durante essa prática.

IV. ANÁLISE DO TESTE FINAL

O teste final foi elaborado aos moldes do teste prévio, porém, contendo mais questões discursi-

vas e incluindo uma questão sobre a prática experimental realizada. Para a realização desse teste final, escolhemos permitir o uso do mapa conceitual, elaborado individualmente pelos estudantes, ao longo das aulas, como consulta. Ao permitir o uso dessa consulta, foi necessário prestar muita atenção na elaboração da prova. Ela não podia ser uma prova apenas conceitual, de forma que os estudantes apenas copiassem o que tinham escrito no mapa. Muito pelo contrário, a intenção desse teste final é avaliar o real sucesso do processo de aprendizagem. Ou seja, garantir que aqueles estudantes que, de fato, desenvolveram seu mapa conceitual de maneira sistemática (como solicitado na aula três) e, no processo, fizeram suas próprias associações, seriam privilegiados quando comparados àqueles estudantes que copiaram de alguma fonte.

Propositalmente, a construção do mapa conceitual não foi acompanhada pelo professor. Não esperávamos mapas conceituais muito completos e corretos. A intenção de usá-los foi verificar, através deles, indícios de formação de novas categorias e/ou a complementação de categorias já existentes, dentro da estrutura cognitiva do estudante (sintomas de aprendizagem). Em uma aplicação futura, aconselha-se que o professor acompanhe essa produção, talvez em um formato em que isso seja feito na própria sala de aula (nos primeiros ou últimos dez minutos de cada aula, por exemplo), pois mais alunos do que esperávamos não fizeram seus mapas.

V. CONCLUSÕES

Nossa hipótese é a de que a música possui elevado potencial como elemento motivador e, principalmente, estruturador/subsunçor para a construção de conceitos básicos de física ondulatória, de modo a constituir um facilitador de sua aprendizagem. Essa hipótese já pôde ser verificada na primeira metade da nossa prática, uma vez que constituíam

subsunoeres todos os elementos musicais intuitivos que pretendemos utilizar. Compreendê-los utilizando conceitos físicos e relacioná-los logicamente nos pareceu mais natural do que seria o caso em uma aula tradicional, apoiada apenas em um livro-texto.

Verificamos também o impacto positivo da utilização de um aparato experimental, diretamente manipulável pelo aluno, na aprendizagem de conceitos básicos de física ondulatória. Consideramos que a atividade experimental desempenhou um papel fundamental na consolidação do conhecimento desenvolvido nesse produto educacional. Na percepção dos alunos, o laboratório contribuiu para uma melhor compreensão de como conhecimentos científicos são produzidos. Evidentemente, não é o caso de se comparar práticas didáticas com a experiência real de pesquisa científica, até mesmo porque essa é uma realidade ainda distante do universo do aluno de Ensino Médio. Muito embora seja difícil fazê-los entender em que consiste essa atividade profissional, em toda a sua profundidade, não há como escapar do fato de que é nesse período que os alunos são estimulados a, eventualmente, escolher essas profissões. Isso significa que qualquer que seja a estratégia didática que permita desmistificar a ciência, seja como uma atividade exclusiva de pessoas geniais, seja como uma construção historicamente acabada, deve contribuir para um melhor e um maior estímulo, nessa direção.

Por outro lado, não podemos imaginar que mais do que uma pequena parcela dos alunos de Ensino Médio escolherá seguir carreiras técnico-científicas, de modo que, do ponto de vista social, mais importante ainda é contribuir para o *letramento científico*. Em muitos casos, isso pode requerer que os conhecimentos – por si só já bastante técnicos e abstratos – que os alunos recebem em sua formação de Ensino Básico possuam um mínimo de contextualidade em suas vidas cotidianas. Tal contextualidade não tem apenas a ver com a

possibilidade de se aproximar de um real entendimento, mas também com a possibilidade de esse entendimento vir a converter-se em discernimento e capacidade de ação e decisão, no seio de uma sociedade tecnológica, como é a sociedade moderna.

Muito embora não tenha sido a nossa proposta realizar uma investigação extensiva, de modo a chegar a conclusões inequívocas – o que se deve ao caráter ainda preliminar de nossos estudos – há suficiente suporte, em outros estudos, para se acreditar que práticas como a que realizamos permitem alcançar bons resultados, do ponto de vista da aprendizagem significativa. Foi o que, majoritariamente de modo subjetivo, percebemos. Portanto, acreditamos que houve ganho significativo na compreensão dos conceitos físicos abordados – incluindo suas definições matemáticas formais – advindo dessa prática. Outro ponto interessante foi o de que, apesar da pouca habilidade na aquisição de dados e de seu tratamento matemático (construção de tabelas, gráficos, etc.), alguns alunos que participaram da prática experimental relataram que passaram a entender a matemática como um instrumento interessante na compreensão dos fenômenos físicos.

Do mesmo modo, verificamos que a utilização do monocórdio foi bem-sucedida. Isso também aponta para o fato de que a introdução de aparatos experimentais pode ser, de fato, capaz de tornar as aulas de física mais interativas, interessantes, voltadas para o cotidiano do aluno e, principalmente, mais eficientes. Atribuímos parte dessa percepção à utilização do violão como situação-problema motivadora, desde o início da sequência. Dessa forma, o aparato experimental ganhou um *status* de instrumento de pesquisa usado para compreender o funcionamento de um instrumento musical.

Como era de se esperar, em virtude de o grupo de alunos participantes ser bastante heterogêneo, nem todos apresentaram indícios suficientes de aprendizagem significativa. Além disso, a ativi-

dade prática se mostrou, no caso desses alunos, em particular, um ambiente didático completamente inédito. Como é de se esperar, nessas situações, eles, inicialmente, ficaram um pouco confusos e desorientados. Porém, aqueles que se permitiram refletir sobre a prática a consideraram muito proveitosa sobre vários aspectos. De um ponto de vista “epistemológico”, esses alunos relataram mudanças em sua forma de interpretar as expressões matemáticas que utilizavam para resolver os problemas de física, pois agora começavam a compreender que elas podiam refletir o comportamento *observável* e *mensurável* dos fenômenos associados. Além disso, em virtude das discrepâncias observadas entre observação e previsão teórica, relataram compreender o caráter aproximado associado a muitas dessas expressões matemáticas.

Adicionalmente, parece ter ficado mais claro que situações ideais nem sempre se referem, de modo simplório, a algo que “não existe” (por conseguinte algo inútil) e que podem constituir aproximações suficientemente boas da realidade. De um ponto de vista instrumental, alguns desses alunos relataram que passaram a entender melhor o porquê de serem obrigados a estudar tantas funções matemáticas, na disciplina de matemática. Esses ficaram surpresos ao saber que a maior parte delas (ou sua totalidade) foram “encomendadas”, ou seja, surgiram a partir de uma demanda ou necessidade para descrever algum fenômeno. Para o primeiro autor, que, além de ter concebido e executado todo o projeto, foi o único a se envolver diretamente em sua execução, esse foi um dos pontos altos da aplicação desse produto educacional, tendo certamente mudado sua forma de enxergar o laboratório de

física, bem como a sua importância na formação de um estudante.

A construção do aparato experimental foi uma aventura à parte. Para que ele funcionasse, de fato, foram necessários muitos testes e ajustes, mas o resultado foi satisfatório, já que, com materiais de baixo custo, foi possível construir uma prática extremamente rica para todos os envolvidos no processo. Recomendamos aos professores que venham a utilizar essa sequência que dediquem um tempo para testar previamente os roteiros e, inclusive, os modifiquem, de acordo com a necessidade.

Alguns imprevistos aconteceram ao longo da prática. A cultura da escola na qual ela foi aplicada não favorecia um engajamento muito grande, por parte dos alunos, o que foi frustrante, à princípio, mas compreensível, posteriormente. De fato, alguns alunos, por escolha própria, ficaram marginalizados, nas últimas atividades da sequência didática, pois ou faltaram às aulas, ou simplesmente não estiveram dispostos a investigar os fenômenos mais maduramente. Não seria exagero afirmar que, em quase todas as turmas do Ensino Médio, esse tipo de aluno está presente, porém, para aquele aluno que se interessou e se permitiu refletir sobre os assuntos propostos, a atividades e mostrou bastante rica. Afinal, nosso objetivo não era (e nem é) preparar os alunos que participaram da prática para resolverem questões de vestibular, mas sim para, caso fosse de seu interesse particular, pudessem estar mais capacitados para compreender fenômenos mais complexos e, em particular, compreendam melhor os fenômenos ondulatórios que lhes são comuns.

REFERÊNCIAS

- [1] RICARDO, Elio Carlos. *O ensino das ciências no nível médio: Um estudo sobre as dificuldades na implementação dos Parâmetros Curriculares Nacionais*. Depto. de Física - UFSC Florianópolis – SC. Cad. Bras. Ens. Fís., v.19, n.3: p.351-370, dez. 2002.
- [2] CASTRO, M.H.G.; TIEZZI, S. *A reforma do Ensino Médio e a implantação do ENEM no Brasil*. In: BROCK, C.; SCHWARTZMAN, S. (Org.). Os desafios da educação no Brasil. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, p. 119-154, 2005.
- [3] WALVY, O. W. C. As situações-problema como facilitadoras para a aprendizagem de conceitos físicos no Ensino Médio. XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física. Rio de Janeiro: SBF, 2005.
- [4] AZEVEDO, M. C. P. S. *Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula*. In: CARVALHO, A. M. P. (org). Ensino de Ciências. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, p. 19-33, 2004.
- [5] MOREIRA, Marco Antonio. *Teorias da aprendizagem*. São Paulo: EPU, 1999.
- [6] LAWTON, Joseph T., SAUNDERS, Ruth A., MUHS, Paul. *Theories of Piaget, Bruner, and Ausubel: Explications and Implications*. Inversity of Wisconsin-Madison. The Journal of Genetic Psychology, 136, 121-136, 1980.
- [7] PIETROCOLA, MAURÍCIO, *A matemática como estruturante do conhecimento físico*. Depto de Física – UFSC Florianópolis – SC, Cad. Cat. Ens. Fís., v.19, n.1: p.89-109, ago. 2002.
- [8] KAC, Marck, ROTA, Gian-Carlo. *Discrete Thoughts, Essays on Mathematics, Science, and Philosophy*. Second Edition., SCHWARTZ, Jacob T, 1993.
- [9] HARTMANN, W.M. *The electronic music synthesizer and the physics of music*. Department of Physics, Michigan State University, 1975.
- [10] YAMAMOTO, Issao; BARBETA, Vagner. *Simulações de experiências como ferramenta de demonstração virtual em aulas de teoria de física*. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 23, no.2, Junho, 2001
- [11] PAKER, Barry. *Good Vibrations, The Physics of Music*. The Jonhs Hopkins University Press, 2009.
- [12] GOTO, Mario. *Física e música em consonância*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 31, n. 2, 2307, 2009.
- [13] MELO, Ruth. *A utilização das TIC's no processo de Ensino e Aprendizagem da Física*. 3º Simpósio Hipertexto e Tecnologias na Educação (Anais Eletrônicos). Universidade Federal de Pernambuco – Núcleo de Estudos de Hipertexto e Tecnologias na Educação, 2010.

- [14] SANTOS, E.M.; MOLINA, C. e TUFAILE, A.P.B. *Violão e guitarra como ferramentas para o ensino de física*. Rev. Bras. Ensino Fís.[online]. Vol.35, n.2, pp. 1-7. ISSN 1806-1117, 2013.
- [15] CATELLI, Francisco; MUSSATO, Gabriel A. *As frequências naturais de uma corda de instrumento musical a partir de seus parâmetros geométricos e físicos*. Mestrado em Educação e Mestrado profissional em Ensino de Ciências e Matemática, Universidade de Caxias do Sul, RS, Brasil, 2014.
- [16] LAGO, B.L. *A guitarra como um instrumento para o ensino de física ondulatória*. Rev. Bras. Ensino Fís.[online]. Vol.37, n.1 Epub30-Mar-2015. ISSN 1806-9126, 2015.
- [17] COELHO, Suzana Maria. *Acústica e música: uma abordagem metodológica para explorar sons emitidos por tubos sonoros*, Faculdade de Física – PUCPorto Alegre – RS Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 32, n. 1, p. 207-222, abr. 2015.
- [18] MOURA, Daniel De Andrade. *O ensino de acústica no Ensino Médio por meio de instrumentos musicais de baixo custo*. Física na Escola, v. 12, n. 1, SP, Brasil, 2011
- [19] WOOD, Alexander. *The Physics of Music*. M.A., D.SC, Late Fellow of Emanuel College, Cambridge, 2007.
- [20] BLEICHER, Lucas; SILVA, Moésio Medeiros da; RIBEIRO, Júlio Wilson y MESQUITA, Márcio Gurjão. *Análise e Simulação de Ondas Sonoras Assistidas por Computador*. Rev. Bras. Ensino Fís.[online]. vol.24, n.2, pp. 129-133. ISSN 1806-9126, 2002.
- [21] HECKLER, Valmir; SARAIVA, Maria; FILHO, Kepler. *Uso de simuladores, imagens e animações como ferramentas auxiliares no ensino/aprendizagem de óptica*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v.29, n.2, p267-273, 2007.
- [22] ARANTES, Alessandra Riposati; MIRANDA, Márcio Santos; STUDART, Nelson. *Objetos de Aprendizagem no ensino de física: usando simulações do PheT*. Física na Escola, v. 11, n. 1, 2010.
- [23] FILHO, Geraldo. *Simuladores Computacionais para o ensino de física básica: uma discussão sobre produção e uso*. Mestrado Profissional em Ensino de Física, Universidade do Rio de Janeiro, 2010.
- [24] HEIDEMANN, Albuquerque; OLIVEIRA, Ângelo; VEIT, Eliane. *Ferramentas online no ensino de ciências: uma proposta com o GoogleDocs*. Universidade do Rio Grande Do Sul - Instituto de Física. Física na Escola, v.11, n.2, 2010.
- [25] CARVALHO, Cristiane. *Uma revisão de literatura sobre o uso de softwares/simuladores/applets e principais referenciais teóricos no ensino de física*. Departamento de Ciências Naturais, Universidade Federal de São João del Rei, 2012.
- [26] GUEDES, Anderson Guimarães. *Estudo de ondas estacionárias em uma corda com a utilização de um aplicativo gratuito para smartphones*. Rev. Bras. Ensino Fís.[online]. Vol.37, n.2, pp. 2502-1-2502-5. ISSN 1806-9126, 2015.

- [27] Moreira, MOREIRA, Marco. Organizadores prévios e aprendizagem significativa. Revista Chilena de Educación Científica, ISSN 0717-9618, Vol. 7, N°. 2, 2008 , pp. 23-30. Revisado em 2012.
- [28] Simulação de uma onda em Corda. Disponível em: < [https :
//phet.colorado.edu/ptBR/simulation/legacy/wave – on – a – string](https://phet.colorado.edu/ptBR/simulation/legacy/wave-on-a-string) > Acesso em:
12/06/2016.
- [29] Site oficial para o aplicativo Guitar Tuner para android. Disponível em:
play.google.com/store/apps/details?id=com.gismart.guitar.tuner. Acesso em: 18/06/2016.
- [30] Site oficial para os softwares WavePad Audio Editing ePitchPerfect Musical Instrument Tuner.
Disponível em: <http://www.nch.com.au/> Acesso em: 18/06/2016.

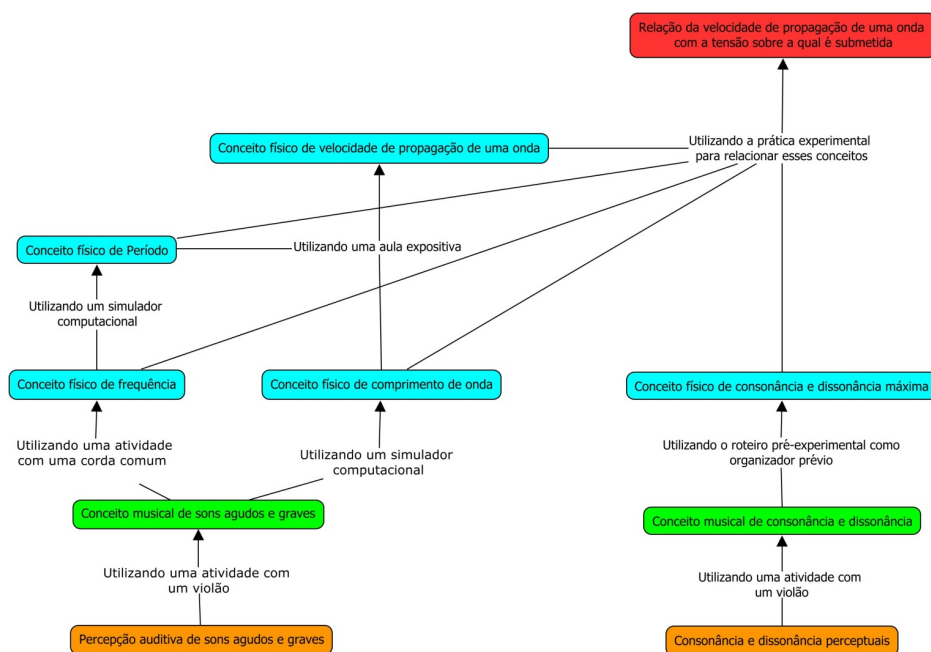


Figura 1: Mapa conceitual mostrando a relação entre as percepções auditivas, os subsunçores identificados e os conceitos físicos abstratos. Em laranja (parte inferior do diagrama) estão as percepções auditivas que originam os subsunçores iniciais. Em verde, os subsunçores utilizados nesse produto educacional. Em azul, os conceitos físicos abstratos relacionados aos subsunçores musicais identificados. Em vermelho, um conceito físico mais complexo que exige articulação entre os conceitos físicos aprendidos



Figura 2: Aparato experimental montado. 1: Reservatório. 2: Orifício lateral para auxiliar o enchimento do reservatório. 3: Estrutura de madeira. 4: Corda de violão. 5: Caixa de ressonância

Aula e Data	O que foi desenvolvido
Aula 1 (Simples)	Teste exploratório + tutorial de como confeccionar mapas conceituais
Aula 2 (Dupla)	Aula expositiva que abordou os seguintes temas: A).Definição de consonância perceptual com o uso de violão. B).Relação entre frequência perceptual (sons agudos e graves) com os comprimentos da corda. C). O que é um pulso? O que é uma onda? D). Comprimento de onda e. E) Frequência e período de uma onda.
Aula 3 (Simples)	Aula expositiva que abordou o seguinte tema: <u>a.Velocidade</u> de propagação da onda em uma corda e equação fundamental da onda ($v = f \cdot \lambda$).
Aula 4 (Dupla)	Atividade experimental utilizando o monocórdio. Objetivos: Medir tensão nos dois segmentos de corda e relacioná-la com a frequência emitida por estas. Observar que a frequência medida no segmento de corda menor é aproximadamente o dobro do segmento de corda maior, dessa forma será fácil <u>bservar</u> a equação fundamental da ondulatória.
Aula 5 (Simples)	Discussão sobre os dados e análises feitas na aula anterior e explicar, questão a questão, como deve ser confeccionado o relatório experimental.
Aula 6 (Dupla)	Análise dos gráficos obtidos e descrever a equação de Taylor como uma formulação para um caso ideal e correção das atividades.
Aula 7 (Simples)	Pós-teste. FIM DA ATIVIDADE

Figura 3: Tabela