



RAMÓN VIEIRA ARAUJO

**IMPLEMENTAÇÃO DE METODOLOGIAS ATIVAS: APRENDIZAGEM BASEADA
EM PROJETOS EM AULAS DE FÍSICA SOBRE ACÚSTICA NO ENSINO MÉDIO À
LUZ DOS CAMPOS CONCEITUAIS**

Tramandaí - RS

2019

RAMÓN VIEIRA ARAUJO

**Implementação de Metodologias Ativas: Aprendizagem Baseada em Projetos
em Aulas de Física Sobre Acústica no Ensino Médio à luz dos Campos
Conceituais**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul em parceria com a Sociedade Brasileira de Física, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Prof. Dr. Ederson Staudt
Orientador

Prof^ª. Dr^ª. Karen Cavalcanti Tauceda
Coorientador

Tramandaí - RS

2019

CIP - Catalogação na Publicação

Araujo, Ramón

Implementação de Metodologias Ativas: Aprendizagem Baseada em Projetos em Aulas de Física Sobre Acústica no Ensino Médio a luz dos Campos / Ramón Araujo. -- 2019.

106 f.

Orientador: Ederson Staudt.

Coorientador: Karen Cavalcanti Tauceda.

Dissertação (Mestrado Profissional) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Campus Litoral Norte, Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Tramandaí, BR-RS, 2019.

1. Teoria dos Campos Conceituais. 2. Ensino de Física. 3. Metodologias Ativas de Ensino. 4. Aprendizagem Baseada em Projetos. 5. Acústica. I. Staudt, Ederson, orient. II. Cavalcanti Tauceda, Karen, coorient. III. Título.

RAMÓN VIEIRA ARAUJO

**IMPLEMENTAÇÃO DE METODOLOGIAS ATIVAS: APRENDIZAGEM BASEADA
EM PROJETOS EM AULAS DE FÍSICA SOBRE ACÚSTICA NO ENSINO
MÉDIO À LUZ DOS CAMPOS CONCEITUAIS**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul em parceria com a Sociedade Brasileira de Física, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em 01 de abril de 2019.

Prof. Dr. Ederson Staudt – MNPEF-UFRGS/CLN (Presidente da Banca)

Prof. Dr. Jorge Rodolfo Silva Zabadal – MNPEF-UFRGS/CLN

Prof. Dr. Roniere dos Santos Fenner – UFRGS

Prof. Dr. Nilson dos Santos Ferreira – UFS

Dedico esta dissertação àqueles que estiveram ao meu lado, compreenderam os momentos de ausência e me apoiaram de forma incondicional durante esta jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que compreenderam meus momentos de ausência. Agradeço aos que torceram, incentivaram, acompanharam e sempre estiveram lá para dizer alguma palavra de incentivo ou algum puxão de orelha. Agradeço aos amigos que fiz durante o curso de Mestrado pela parceria, risadas e apoio durante toda a nossa jornada.

Agradeço aos professores e funcionários do Campus Litoral Norte da UFRGS, que sempre estiveram presentes, solícitos e prontos a ensinar. Com vocês aprendi o que devo e o que não devo fazer na busca pela excelência profissional. Um agradecimento especial ao Prof. Dr. Ederson Staudt e Prof^a. Dr^a. Karen Cavalcanti Tauceda que se mostraram, não somente excelentes orientadores, mas também amigos nesta jornada.

Agradeço à direção do Colégio Ulbra Cristo Redentor (CCR) e Colégio Ulbra São João (CSJ) pela disponibilização do espaço para a aplicação do produto educacional, pelo incentivo durante a minha formação e pelos inúmeros momentos em que a instituição se mostrou uma grande parceira do meu projeto.

Agradeço, em especial, à Sociedade Brasileira de Física pela oportunidade do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, possibilitando que os professores de Física deste país melhorem a sala de aula de forma efetiva.

Agradeço aos colegas professores que sempre estiveram buscando a evolução da sociedade civil de forma justa e para todos.

A todos que, de algum modo, colaboraram para o andamento deste projeto como um todo. Vocês foram combustível nesta jornada.

Obrigado.

RESUMO

Percebendo a dificuldade dos estudantes nos tópicos de ondulatória e, principalmente, no estudo das ondas sonoras em tubos abertos, foi pensada a realização de uma sequência didática que abordasse o tema utilizando como metodologia de aplicação a Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP), uma metodologia ativa que prioriza o estudante como protagonista durante o processo de aprendizagem. Este trabalho inclui um produto educacional que instrumentaliza o professor que deseja aplicar essa sequência para a construção e elaboração de um projeto análogo. Como referencial teórico, utiliza-se a Teoria dos Campos Conceituais, de Gérard Vergnaud, a qual compreende a aprendizagem como um processo longo que demanda do estudante a resolução de diferentes situações-problema envolvendo o campo conceitual que se pretende expandir. Através dessa sequência didática, o estudante construiria um instrumento musical e dele surgiriam as observações e hipóteses que iriam confrontar os conhecimentos prévios dos estudantes para que houvesse a possibilidade da intervenção do professor para promover a ressignificação destes conhecimentos de acordo com os conceitos cientificamente aceitos. Os resultados obtidos na comparação entre os questionários de levantamento dos conhecimentos prévios dos estudantes e as questões de verificação evidenciam o aproveitamento dos estudantes na compreensão dos tópicos de ondulatória e acústica de forma relevante e demonstra eficácia da abordagem, despontando esta sequência didática como uma forma de abordar tópicos usualmente tidos como difíceis.

Palavras-chave: Ensino – Física - Ondulatória - Campos conceituais - Aprendizagem

ABSTRACT

Acknowledging students' difficulties on the topic of wave mechanics, and mainly on the studies of sound waves in open pipes, this work presents a didactic sequence on that theme, grounded on a Project-Based Learning methodology, an active approach which perceives the student as the protagonist of his learning process. In addition, an educational product is also presented, meant to instrumentalize the teacher interested on the development of this sequence within analogous projects. This research is supported by the Theory of Conceptual Fields by Gérard Vergnaud, which approaches the learning progress as a demanding, task-based process involving the conceptual field under scrutiny. The present didactic sequence encourages students to build a musical instrument, from which observations and hypotheses would emerge to confront their previous knowledge, counting on the teacher's supervision to promote the redetermination, on a scientific basis, of such the observed phenomenon. The results obtained through the comparison between the pre-task survey and the after-task verification questionnaire stress the students' meaningful comprehension of the topics of acoustics and wave mechanics, demonstrating the effectiveness of the methodology and pointing to the didactic sequence as an alternative to approach class topics commonly regarded as challenging.

Keywords: Physics education - Teaching - Physics - Undulatory - Conceptual fields – Learning

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 OBJETIVOS.....	13
2.1 Objetivos gerais.....	13
2.2 Objetivos específicos.....	13
3 REFERENCIAIS TEÓRICOS.....	14
3.1 Aprendizagem baseada em projetos	14
3.1.1 O papel do professor na Aprendizagem Baseada em Projetos.....	18
3.2 Teoria dos campos conceituais	21
3.3 Orientações curriculares para o ensino médio.....	27
4 MOVIMENTO OSCILATÓRIO.....	29
5 MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES	31
6 METODOLOGIA	35
7 RESULTADOS - Relato das atividades	36
7.1 Planejamento e execução das aulas	37
7.2 Relato da primeira etapa - 21/03/2018	38
7.3 Relato da segunda etapa - 28/03/2018.....	42
7.4 Relato da terceira etapa - 11/04/2018	46
7.5 Relato da quarta etapa - 18/04/2018	48
7.6 Relato da quinta etapa - 09/05/2018.....	50
7.7 A avaliação.....	51
7.8 Análise da aplicação do produto.....	52
7.9 Análise das questões de verificação.....	55
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
REFERÊNCIAS	63
APÊNDICE A — QUESTIONÁRIO DE OPINIÕES DURANTE A EXECUÇÃO DAS ETAPAS DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	67
QUESTIONÁRIO DE OPINIÕES	68
APÊNDICE C — PRODUTO EDUCACIONAL	74

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho pretende auxiliar no desenvolvimento de algumas das competências e habilidades em Física, dentro do estudo da acústica, área que tem como objeto de estudo o som, sua propagação, suas formas e as tecnologias relacionadas.

Pela experiência do autor em sala de aula, este assunto é considerado particularmente difícil por muitos estudantes, dado o rendimento abaixo do esperado em testes, trabalhos e situações onde visa-se a aferição da aprendizagem dos estudantes. Um dos motivos pode ser o fato de que existem muitas definições e símbolos que constituem equações matemáticas que sintetizam informações sobre o fenômeno, para serem aprendidas, mas a razão principal é a necessidade de relacionar as oscilações de um objeto (algo que podemos observar ou mesmo sentir) a gráficos e equações matemáticas. Associar um movimento real à abstração de um gráfico ou equações requer esforço intelectual, mas representa, em essência, aquilo que se espera de uma formalização. É preciso então trazer subsídios para que as equações e gráficos tenham significado em termos daquilo que se manifesta no fenômeno, ou seja, uma descrição correta e profunda não pode ser um empecilho.

A temática do presente trabalho também consta no estudo da ondulatória, pois ondas sonoras são de origem mecânica, sendo produzidas por deformações em um meio com propriedades elásticas. O produto desenvolvido durante este trabalho utiliza a acústica como norteador do estudo, devido à presença deste tema no cotidiano dos estudantes, e paralelamente a este assunto abre-se a possibilidade da abordagem à mecânica ondulatória, englobando a mecânica quântica, sem evidenciar ao aluno a distinção de que, naquele momento, o objeto de estudo é a mecânica quântica, possibilitando que o fluxo do entendimento do estudante se dê de forma contínua. Da mesma forma, ao fornecer bases conceituais para a continuidade do estudo de ondulatória e de seus posteriores desdobramentos, sem relegar a um segundo plano questões importantes como, por exemplo, a diferença da natureza diversa dos objetos quânticos frente aos objetos clássicos.

Evitando abordar excessivamente os usos das regras matemático-operatórias presentes na mecânica quântica, mas sim, procurando suprir, em partes, o que Ostermann e Ricci (2003) classificam como uma grande carência de discussões acerca dos aspectos conceituais e, até filosóficos, da Mecânica Quântica.

Esta dissertação traz em apêndice uma sequência didática, que proporciona ao professor um material detalhado de como propiciar e fomentar a aprendizagem significativa dos estudantes através da Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) e recursos de tecnologia da informação e comunicação (TIC). Como referências foram utilizados livros didáticos tanto de ensino médio quanto de ensino superior, buscando enriquecer conceitualmente este projeto, tornando-o um material amplo e acessível ao professor e aos estudantes. A utilização desta gama de materiais e de abordagens busca trazer ao professor um projeto instigante e que mantenha acurácia científica, mesmo que de forma simplificada, visando o estudo com a profundidade que o ensino médio requer. Esta preocupação se faz presente para que seja evitada a abordagem de forma reducionista e/ou distorcida do tema.

Sendo assim, antes de iniciar a ABP e começar a envolver os estudantes no estudo da acústica e das ondas sonoras, é necessário fornecer ao professor e aos estudantes as bases conceituais para a elucidação, promovendo (PCN, 1998, p. 22):

...a articulação de toda uma visão de mundo, de uma compreensão dinâmica do universo, mais ampla do que nosso entorno material imediato, capaz, portanto, de transcender nossos limites temporais e espaciais. Assim, ao lado de um caráter mais prático, a Física revela também uma dimensão filosófica, com uma beleza e importância que não devem ser subestimadas no processo educativo.

Desta forma, o presente trabalho procura investigar a expansão do campo conceitual dos estudantes, no que tange o assunto de acústica e ondulatória, utilizando como ferramenta a ABP. Para tal investigação, é necessário conhecer os subsunçores dos estudantes e, utilizando as técnicas e ferramentas disponíveis através da ABP, fazer intervenções pontuais que conduzam o estudante à expansão de seu campo conceitual, graças a situações que propiciem maior experiência com o tema estudado.

Vergnaud justifica a utilização de campo conceitual como forma da obtenção do conhecimento utilizando três argumentos, que serão os norteadores dos objetivos deste trabalho. Estes argumentos (representam os pilares fundamentais) da compreensão do processo de desenvolvimento da sequência didática e da aplicação do produto educacional como ferramenta que proporciona e alimenta a busca do professor pela capacidade de fomentar a aprendizagem significativa nos estudantes.

A saber, estes argumentos são:

1. Um conceito não se forma a partir de um só tipo de situação;
2. Uma situação não se analisa somente com um conceito;
3. A construção e a apropriação de todas as propriedades de um conceito ou todos os aspectos de uma situação são um processo longo.

Visando propiciar ao estudante situações que diferem das relações normais e tradicionais em sala de aula, a aplicação da aprendizagem baseada em projetos encaixa-se como uma forma de elaborar e apresentar ao estudante situações que possam contribuir para a formação e/ou ampliação de conceitos que estabeleçam significados nos conhecimentos prévios e nos campos conceituais já existentes dos estudantes. Ressignificando e reorganizando tais conceitos de forma a, primeiramente, estabelecer compreensão científica, e, em um segundo momento, enriquecer a gama de situações, vivências e relações entre campos distintos.

Ao perceber que os estudantes desejam situações diversificadas para relacionar campos conceituais distintos, surge então a possibilidade da aplicação da metodologia ABP visando suprir tal necessidade de diversificação das atividades de ensino, tornando possível tal diversificação. Situações estas que cumprem, segundo Hestenes (1996) e Kaper e Goedhart (2002), papel importante na conceitualização, fornecendo aos estudantes bases diferenciadas para a manipulação e exploração conceitual.

Entendendo que estas situações são as tarefas, teóricas e empíricas que, quando realizadas pelos estudantes, proporcionam o cenário para a ocorrência da aprendizagem significativa, segundo Vergnaud:

o saber se forma a partir de problemas para resolver, quer dizer, de situações para dominar. [...] Por problema é preciso entender, no sentido amplo que lhe atribui o psicólogo, toda situação na qual é preciso descobrir relações, desenvolver atividades de exploração, de hipótese e de verificação, para produzir uma solução (1990, p.52).

Os objetivos específicos deste trabalho foram selecionados utilizando o guia para professores do *Buck Institute for Education* (BIE), onde são elencados exemplos de produtos que podem resultar da utilização da ABP como metodologia de ensino. Para Markham (2008) tanto os produtos em momentos distintos do projeto quanto a avaliação das habilidades e competências dos estudantes em diferentes fases do

projeto permitem ao estudante avaliar o processo de evolução e decidir sobre rumos alternativos do projeto em si.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

Aumentar o número de diferentes situações as quais o estudante é exposto no que tange o assunto de acústica e ondulatória para que possa testar e explorar seus modelos explicativos e, dessa forma, possibilitar que, em diferentes contextos e situações, os campos conceituais possam ser reformulados ou enriquecidos.

2.2 Objetivos específicos

A construção de um instrumento musical utilizando canos de policloreto de polivinila (pvc), explorando as propriedades e possibilidades do estudo da acústica em tubos sonoros.

Construir relações das propriedades ondulatórias que na mecânica quântica também são associados às partículas.

3 REFERENCIAIS TEÓRICOS

3.1 Aprendizagem baseada em projetos

A Aprendizagem Baseada em Projetos – ABP (Project-based Learning - PjBL) ressalta as atividades de projeto, cujo principal atributo é a construção coletiva do conhecimento interdisciplinar e centrada no estudante.

... A ABP é um método de ensino sistemático que engaja estudantes na aprendizagem de conhecimentos importantes e no desenvolvimento de competências do século 21, através de um processo estruturado de investigação influenciado pelo aluno com questões autênticas, produtos projetados cuidadosamente e tarefas de aprendizagem. (BOSS et al. 2013, p.5)

A ABP “oferece aos alunos a oportunidade de aprender a trabalhar em grupo e a realizar tarefas comuns. Exige que os alunos monitorem seu próprio desempenho e as suas contribuições ao grupo” (Markham, 2008, p.7). Paralelamente, a ABP proporciona situações onde os estudantes podem desenvolver habilidades que as aulas, realizadas de um modo mais convencional, não viabilizam, como por exemplo a capacidade de questionamento e solução de problemas (Blumenfeld et al., 1991). Além disso, a necessidade da comunicação e da cooperação entre o grupo (Barron et al., 1998); bem como o desenvolvimento da argumentação, da reflexão crítica sobre os assuntos abordados e a visão sistêmica para a solução de problemas (Seidel; Aryeh, 2002), também é possível destacar o caráter de interdisciplinaridade (Andersen; Heilsen, 2015) da ABP.

O alinhamento da ABP com a Teoria dos Campos Conceituais se faz, em partes, pela possibilidade do desenvolvimento das situações de aprendizagem, através da proposição de projetos complexos e vinculados à realidade do estudante. Bem como pela importância dada à interação social, ao desenvolvimento de uma linguagem apropriada para a solução das situações e aos esquemas que serão desenvolvidos durante o processo para o encontro de tais soluções. Viabilizando, desse modo, uma contínua e progressiva busca pelo domínio de um campo conceitual.

Através da ABP, os estudantes são instigados a explorar um problema significativo do mundo real (Larmer; Ross; Mergendoller, 2009), e a procurar soluções,

pois geralmente é solicitado um resultado prático. Sendo esta uma das grandes possibilidades para que os estudantes interfiram, interajam e desenvolvam soluções para o mundo fora da sala de aula (Cook; Weaving; Gordon, 2012), permitindo que os estudantes confrontem as questões e os problemas que consideram significativos, determinando como abordá-los e agindo cooperativamente em busca de soluções.

Dessa forma, o professor oferece aos alunos o projeto como peça central da abordagem metodológica, diferentemente das abordagens mais tradicionais, onde o projeto acaba se tornando uma atividade elaborada após o estudo de determinado tema. O projeto passa então a assumir uma roupagem totalmente diferente: é a partir dele que são solicitadas necessidades para gerar os conceitos, os quais se pretende aprofundar, o que assumimos aqui como sendo a definição de tema gerador.

Ao proporcionar analogias com a aprendizagem do dia-a-dia, demonstra-se o fato de a aprendizagem ser contextualizada, de que as situações enfrentadas naquele momento fazem parte do espectro de situações já vivenciadas pelo estudante, de tal modo que é permitido dizer que aquelas situações são problemas complexos, que demandam a criação de esquemas, a filiação e a ruptura de estruturas e ferramentas cognitivas.

Múltiplas fontes de informação, bem como quaisquer outros recursos que os estudantes possuem, serão também extensamente utilizados durante o processo de aprendizagem.

Paralelamente à metodologia da ABP, o professor deve utilizar a sua experiência e conhecimentos para, em conjunto com a ABP, utilizar métodos diferenciados e/ou tradicionais de exploração do conteúdo; pois, segundo Markham (2008), a ABP não tem como objetivo principal a exclusão de métodos e práticas; mas sim, a elaboração de um todo integrado que ofereça aos estudantes uma experiência completa entre conteúdo, habilidades e oportunidades de evolução acadêmica. Visando aumentar substancialmente a gama de situações e de soluções para que os problemas sejam significativos e que, dessa forma, o distanciamento entre o que para Blumenfeld (1991) é visto como um grande empecilho à relação de apropriação dos estudantes quanto ao conteúdo, pois “os estudantes têm poucas oportunidades de aplicar o conhecimento adquirido de formas distintas, como observar e resolver problemas reais, ou usar o conhecimento para criar artefatos”.

A ABP é conhecida por oferecer aos estudantes as ferramentas para o desenvolvimento de habilidades e conhecimentos valorizados, conforme Ribeiro e Mizukami (2004) sendo, segundo Bender (2014, p.15):

...A ABP pode ser definida pela utilização de projetos autênticos e realistas, baseados em uma questão, tarefa, ou problema altamente motivador e envolvente, para ensinar conteúdos acadêmicos aos alunos no contexto do trabalho cooperativo para a resolução de problemas.

Segundo Larmer et al. (2009), ao guiar o estudante através de uma questão central, a ABP proporciona um conjunto de tarefas, experiências de aprendizagem, diferentes buscas para a solução de um problema ou ainda instiga o estudante quando depara-se com um desafio. Regularmente, o foco da ABP é na criação de produtos/artefatos físicos, porém, isto não é regra fixa. A presente proposta procura envolver outras situações que desafiam intelectualmente o estudante, visando gerar produtos/artefatos focados na pesquisa, leitura, escrita, discussão e apresentação oral.

Os produtos desenvolvidos durante um projeto são tão versáteis quanto qualquer coisa de que o projeto necessite, dada a expectativa de que estes produtos, não só representem, mas também sejam úteis frente a situações cotidianas (Grant, 2002)

Larmer et al. (2009) cita que quando os estudantes são conduzidos através do currículo escolar por uma questão significativa, que seja tangível ao cotidiano do estudante face os problemas do mundo real, como por exemplo as implicações do estudo de acústica.

Antecipadamente, ao momento em que os estudantes possam, de fato, apropriar-se dessa situação e de sua solução, eles precisam interagir com os outros estudantes, investigando as questões levantadas, aprendendo conteúdos e habilidades para desenvolver uma resposta ou solução. Não somente isto, mas também precisam organizar uma forma de explicitar esses novos conhecimentos aos seus colegas e a outras pessoas.

Esse processo desperta no estudante uma forte necessidade de compreensão e conhecimento acerca da situação explorada. Essa é a chave da ABP para aumentar a motivação dos estudantes, oferecendo a necessidade real de exercer

domínio sobre esta situação, além de simplesmente mecanizar o estudo afim de obter uma nota satisfatória.

Markham et al. (2008) destacam que, dado o avanço no campo das pesquisas em neurociências e em psicologia cognitivista, foi possível compreender melhor os modelos cognitivos e comportamentais de aprendizagem. Graças a estes avanços pode evidenciar-se que cognição, ação e contextos de aprendizagem estão inseparavelmente relacionados. “Hoje sabemos que a aprendizagem é, em parte, uma

FIGURA 1 — ELEMENTOS ESSENCIAIS DA ABP. FONTE: TRADUZIDO DE LARMER; MERGENDOLLER. (2015)



<http://www.bie.org/object/document/why_we_changed_our_model_of_the_8_essential_elements_of_pbl> Acesso 25 de maio de 2018

atividade social; ela ocorre em um contexto de cultura, comunidade e de experiências anteriores” (Markham, 2008 p.17).

Na Figura 1, são destacados os elementos primordiais da ABP, definidos conforme Boss et al (2013) como:

1. Ter conteúdo relevante: em seu cerne o foco do projeto é promover situações que permitam a aprendizagem, desenvolvendo conhecimentos e habilidades importantes. Derivados de normas e conceitos-chave da disciplina.
2. Promover as competências para o século XXI: os estudantes necessitam de competências importantes como a resolução de problemas, o pensamento

crítico, a colaboração e o domínio de diferentes formas de comunicação para o mundo de hoje.

3. Espírito investigativo: o envolvimento dos estudantes em um processo que os leve a fazer questionamentos e ao desenvolvimento de repostas que satisfaçam a curiosidade e a motivação.
4. Foco e organização em torno de questões direcionadoras: o projeto foca na exploração de uma questão aberta pelos estudantes, estimulando aprendizado mais aprofundado, visando enriquecer a capacidade argumentativa frente a desafios e problemas.
5. Gerar a necessidade de conhecer: a entrega de um produto/artefato por parte dos estudantes, ao final de um período, faz com que sintam a necessidade de dominar o assunto, compreendendo conceitos e não somente aplicando, mas também, explicitando as suas habilidades.
6. Oportunizar a escolha e a autonomia dos estudantes: ao aprenderem a trabalhar de forma independentemente e assumindo riscos quando solicitados a fazer escolhas e mostrar a sua voz.
7. Oportunizar a revisão e reflexão: os estudantes usam os momentos de *feedbacks* para incrementar, alterar e/ou reestruturar seus projetos, com o intuito de aprimorar a qualidade dos produtos/artefatos no qual estão trabalhando.
8. Apresentar para o público: os estudantes apresentam o seu trabalho para a comunidade acadêmica e em geral.

3.1.1 O papel do professor na Aprendizagem Baseada em Projetos

O professor, diferentemente do protagonismo explícito de uma aula expositiva, passa a ser problematizador e orientador das relações dos estudantes com o projeto em desenvolvimento. Para Mergendoller et al.(2006) a ABP leva o professor a um perfil de administrador do processo e moderador das interações em sala de aula e fora dela, já que a abordagem ultrapassa os limites da sala de aula.

Na ABP, o professor propõe um tema que possa ser instigante e norteador da ação e do contato com novas situações referentes ao estudo abordado, enriquecendo o campo conceitual dos estudantes. Um dos objetivos da ABP é desenvolver a autogestão dos estudantes, onde cabe ao professor, através de um processo de

planejamento criterioso e da gestão de atividades que visam o futuro, investindo na preparação e no planejamento destas atividades (Boss e Krauss, 2007). O professor, em seguida, dá a autonomia aos estudantes para que os esforços sejam concentrados na experiência de aprendizagem. Nesse momento, o professor passa a ser um mediador, facilitador e guia deste processo.

Markham et al. (2008, p. 115-116) destacam uma lista de tarefas essenciais ao professor para que assuma o papel principal no gerenciamento geral do projeto:

1. Oriente: reforce continuamente as metas do projeto, regularmente traga o foco dos estudantes tanto ao projeto quanto à questão orientadora. “Comunique as próximas etapas para ajudar os estudantes a permanecer na tarefa e lembre-os que, para aprender com profundidade, é preciso tempo e paciência.”

2. Agrupe: uma característica da ABP é a cooperação, agrupar os estudantes de modo adequado faz parte do planejamento e do gerenciamento do projeto.

3. Organize: cabe ao professor a responsabilidade de definir e exigir o cumprimento de prazos, diariamente, pelo recolhimento de produtos/artefatos durante o andamento do projeto e pela provisão do retorno necessário para manter os alunos focados e encaminhados ao êxito na conclusão do projeto.

4. Esclareça: as múltiplas tarefas e tomadas de decisões durante um projeto certamente acarretarão uma série de dúvidas sobre o que fazer depois ou o que é importante saber em um dado momento do projeto. Dirija os esforços dos estudantes de forma clara.

5. Monitore e regule: projetos exigem que os estudantes se movimentem na sala de aula, trabalhem de forma independente e às vezes saiam da área da escola para fazer pesquisa. É necessário dedicar-se a esse momento de autonomia e orientar para este modo de trabalho mais autônomo. Gerenciamento do tempo, do cumprimento de prazos e da utilização de recursos durante o andamento de um projeto devem ser orientados até o ponto em que os estudantes sejam capazes de fazer isto sozinhos. Auxiliá-los com planilhas de metas diárias e prazos de gerenciamento de tempo é papel importante durante um projeto.

6. Gerencie: o fluxo de trabalho requer gerenciamento até que os estudantes compreendam e sejam capazes de executar tais movimentos sozinhos. Verificar e acompanhar constantemente o andamento do projeto e atentar para áreas

onde os estudantes sintam-se deficientes é fundamental para um bom andamento. Se necessário utilize algum recurso (aulas rápidas, materiais impressos e fontes usuais de informação), para promover o conteúdo necessário.

7. Avalie: o sucesso do projeto e o reconhecimento do que foi aprendido, juntamente com os estudantes, o resultado do projeto e as lacunas que podem ser exploradas devem ser discutidas e revistas em grupo.

Desse modo, é importante que o professor possa antecipar-se aos diversos papéis que irá desempenhar como administrador das situações e do projeto em sala de aula. Torna-se evidente que o professor deve, segundo Markham et al.(2008), compartilhar os objetivos do projeto com os estudantes, permitindo que o mesmo seja refinado em conjunto, visando maximizar o engajamento e o foco dos estudantes quanto ao êxito do projeto. Da mesma forma Markham et al.(2008) também destacam o uso de ferramentas para a solução de problemas como listas do que os estudantes sabem/precisam saber, diários de aprendizagem e registros das situações exploradas.

3.2 Teoria dos campos conceituais

A teoria dos Campos Conceituais (TCC), formalmente designada assim por Gérard Vergnaud, em 1990, foi escolhida como referencial para este trabalho. Ela tem ascendência nas pesquisas do autor na área da matemática, especificamente na aprendizagem das estruturas aditivas e multiplicativas. Mas a TCC não se restringe apenas ao campo da matemática, tendo importante papel quando oferece novas ideias sobre o desenvolvimento cognitivo, adotando como fundamental a análise da complexidade própria de cada conteúdo. Vergnaud destaca (2017, p.19):

“A ideia principal de TCC considera uma visão do processo cognitivo em termo de formação de conceito., em relação uns com os outros. Esta relação ocorre de duas maneiras: primeiro porque há filiações e a seguir porque formam sistemas. Há filiações porque essencialmente há continuidade no processo cognitivo, mas há também rupturas. Por isso, a TCC, é um meio para analisar filiações e rupturas, durante um longo período de tempo.”

Vergnaud (2017) também destaca as contribuições piagetianas presentes na TCC. Ao reconhecer a importância do conceito de esquema desenvolvido por Piaget, bem como a ideia de invariante operatório. Destaca também as ideias de adaptação, desequilíbrio e reequilíbrio como pilares fundamentais para a investigação em didática das ciências e da matemática. Piaget fornece as pedras angulares para a construção da TCC, do mesmo modo que Vergnaud (Moreira, 2002) reconhece o legado de Vygotsky na construção da TCC, ao perceber a importância atribuída à interação social, à linguagem e à simbolização no progressivo domínio de um campo conceitual pelos estudantes.

TCC também é bastante compatível com a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel (Moreira, 2002), sob a ótica da teoria dos campo conceituais, “a teoria da aprendizagem significativa tem sido interpretada em termos de progressividade e complexidade.”

Moreira (2002, p.21) traça um paralelo entre a teoria de Ausubel e Vergnaud da seguinte forma:

... “a teoria de Ausubel, é uma teoria de aprendizagem em sala de aula, de aquisição de corpos organizados de conhecimento em situação formal de ensino, enquanto que a teoria de Vergnaud é uma teoria psicológica do processo de conceitualização do real que se propõe a localizar e estudar continuidades e rupturas entre conhecimentos do ponto de vista de seu conteúdo conceitual. A teoria de Vergnaud não é uma teoria de ensino de

conceitos explícitos e formalizados, embora tenha subjacente a ideia de que os conhecimentos-em-ação (largamente implícitos) podem evoluir, ao longo do tempo, para conhecimentos científicos (explícitos). A teoria de Ausubel, por outro lado, se ocupa exatamente da aquisição de conceitos explícitos e formalizados, chegando inclusive a propor princípios programáticos –como a diferenciação progressiva, a reconciliação integradora e a consolidação – para a organização do ensino”.

Para Moreira,

...”o conhecimento está organizado em campos conceituais cujo domínio, por parte do sujeito, ocorre ao longo de um largo período de tempo, através de experiência, maturidade e aprendizagem (1982, p. 40). Campo conceitual é, para ele, um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, conectados uns aos outros e, provavelmente, entrelaçados durante o processo de aquisição.” (MOREIRA, 2002, p.8)

Segundo Vergnaud (2017, p.17-18)

“A TCC fundamenta-se em certas ideias básicas, a saber:

a- Um conceito adquire sentido em função da multiplicidade de problemas aos quais responde.

b- Os conceitos não funcionam isoladamente, mas sim vinculados uns aos outros, numa ampla e complexa rede.

c- A aprendizagem de todas as propriedades e relações que envolvem tais conceitos acontecem por meio de uma longa história, entrelaçada por uma série de filiações e rupturas

d- Através das ideias anteriores, se pode definir um critério pragmático do conhecimento, aonde um conceito não remete apenas à sua definição explícita, mas, basicamente, à sua possibilidade de funcionar na resolução de problemas.”

Desse modo, torna-se fundamental a compreensão sobre os campos conceituais que podem ser considerados como conteúdos que podem ser abordados pelos estudantes de tal forma. Conteúdos cujo acesso se faz possível através de situações que fornecem sentido aos conceitos (diferentemente das relações mais tradicionais em sala de aula, onde os conteúdos são apresentados como um resumo de conceitos formais e teoremas).

Estas situações são o primeiro contato e, portanto, a porta de entrada para o campo conceitual que será abordado pelo estudante. São três as razões que induziram Vergnaud a esta definição de campo conceitual (MOREIRA, 2002):

1. A aprendizagem de um conceito não ocorre somente com uma situação.
2. Uma situação não é resolvida com apenas um conceito.

3. O domínio de um campo conceitual é um processo longo, que necessita de diversas situações, e dura anos.

Ao dominar gradativamente situações existentes em um dado campo conceitual, o processo de aprendizagem ocorre. Desse modo, é evidente a importância do conceito de situação proveniente da TCC. Situação é algo que deve ser resolvido pelo estudante, uma tarefa que abra as portas para a exploração do campo conceitual. Cabe ao professor a escolha apropriada dessas situações, dada a forte dependência entre as situações e os processos cognitivos utilizados de forma consciente ou inconsciente pelos estudantes. A escolha de situações impróprias ou até mesmo a confusão entre situações e problemas quantitativos pode dificultar o processo de aprendizagem.

Vergnaud assinala dois aspectos relevantes das situações:

a variedade - há muitas situações em um campo conceitual;

e a história - o enfrentamento e o domínio progressivo das situações formam o conhecimento (VERGNAUD, 1993).

A conceitualização é o cerne do desenvolvimento cognitivo da TCC, desenvolvida por Vergnaud. A definição de campo conceitual é tida para Vergnaud como sendo:

...ao mesmo tempo um conjunto de situações e um conjunto de conceitos. O conjunto de situações cujo domínio progressivo implica uma variedade de conceitos, de esquemas e de representações simbólicas em estreita conexão; o conjunto de conceitos que contribuem a dominar estas situações. (VERGNAUD, 2017, p.42)

Segundo Vergnaud (1990a, p. 135), “um conceito não pode ser reduzido à sua definição se estamos interessados na sua aprendizagem e no seu ensino. É através de situações e de problemas que um conceito adquire sentido para o aluno.” Ao apresentar a definição de um conceito a um estudante, não se pode esperar que exista algum tipo de aprendizagem proveniente desta apresentação. O conceito é formado pelo tripleto das situações que lhe dão sentido (S); dos invariantes operatórios, o significado do conceito (I); e das representações, os significantes do conceito (R). O conjunto das situações repousa no real, elas são problemas e tarefas tangíveis ao estudante, já o segundo e o terceiro conjuntos repousam no pensamento e nas experiências anteriores do estudante, são instrumentos de conceitualização do real

(FRANCHI, 1999). Um conceito só é bem explorado se todos os elementos deste triplete (SIR) receberem a devida atenção durante o processo de aprendizagem.

Os significantes são as representações simbólicas. Estas representações são o apanhado de palavras, sentenças, gráficos, esboços, abstrações imagéticas, equações, etc. Elas são ferramentas para a representação da realidade, produzidas pelo estudante durante o processo de aprendizagem. Além desse papel de mediação, estas ferramentas organizam o pensamento e permitem a comunicação do conhecimento (FRANCHI, 1999).

As representações simbólicas contêm invariantes operatórios (I), as quais são ingredientes essenciais da parte conceitual dos esquemas. Na TCC, esquema é uma organização invariante da conduta do indivíduo para uma certa classe de situações; entretanto, essa definição não é excludente da possibilidade da existência de outros esquemas para essa dita classe de situações (VERGNAUD, 2017, p.32).

O conceito de esquema na TCC é composto por quatro componentes, a saber:

1. Uma meta, sub-metas (sic) e antecipações;
2. Regras de ação, de busca de informação e de controle;
3. Invariantes operatórios: conceitos-em-ação e teoremas-em-ação;
4. Possibilidade de inferência em situação (VERGNAUD, 2017, p.32).

Moreira (2002, p.13) considera estes componentes “conhecimentos contidos nos esquemas”, que são capazes de determinar as diferenças entre os esquemas do indivíduo. Um teorema-em-ação é uma conjectura tida como correta sobre o real. É uma proposição (pode ser classificada como verdadeira ou falsa). Já conceitos-em-ação (uma categoria de pensamentos tidos como pertinentes, relevantes frente a situações) são funções proposicionais (não podem ser classificadas como verdadeiras ou falsas), são essenciais na construção das proposições e são implícitos (VERGNAUD, 1993, p.4; 1996, p.202; 1998, p.167).

Os invariantes operatórios não devem ser considerados como um sinônimo de concepções prévias. Concepções prévias são identificadas facilmente, diferentemente dos invariantes operatórios. (GRINGS, CABALLERO, MOREIRA, 2006). As concepções prévias podem originar tanto teoremas-em-ação quanto conceitos-em-ação, já que é intrínseco ao indivíduo o desenvolvimento de esquemas

para que se possa lidar com situações, situações as quais ele já se deparou com diversas delas fora do ambiente escolar.

A utilização destes esquemas sempre produz algum efeito, porém, nem sempre são adequados para a solução da situação do ponto de vista científico. Estes esquemas estão em constante competição no sujeito: aqueles que não são bons para resolver situações são trocados, combinados e ressignificados com outros para dar origem a novos esquemas. Assim ocorre a adaptação das estruturas cognitivas, processo que Piaget chamou de assimilação e acomodação (VERGNAUD, 1993).

As atividades de ensino e aprendizagem, estabelecidas dentro da TCC, são aquelas que visam as duas faces do campo conceitual, o saber fazer (forma operatória do conhecimento), bem como também saber explicitar (forma comunicativa). Para que a conceitualização do real aconteça através das situações e que estas situações produzam conhecimentos explícitos são de grande importância as representações. As representações são responsáveis por tornar os conhecimentos explícitos, por isso a importância do triplete SIR na definição de conceito (VERGNAUD, 1996). Cada conteúdo tem suas particularidades e dificuldades inerentes na TCC, sendo necessário, na Física, conhecer as dificuldades próprias de cada campo conceitual a ser abordado.

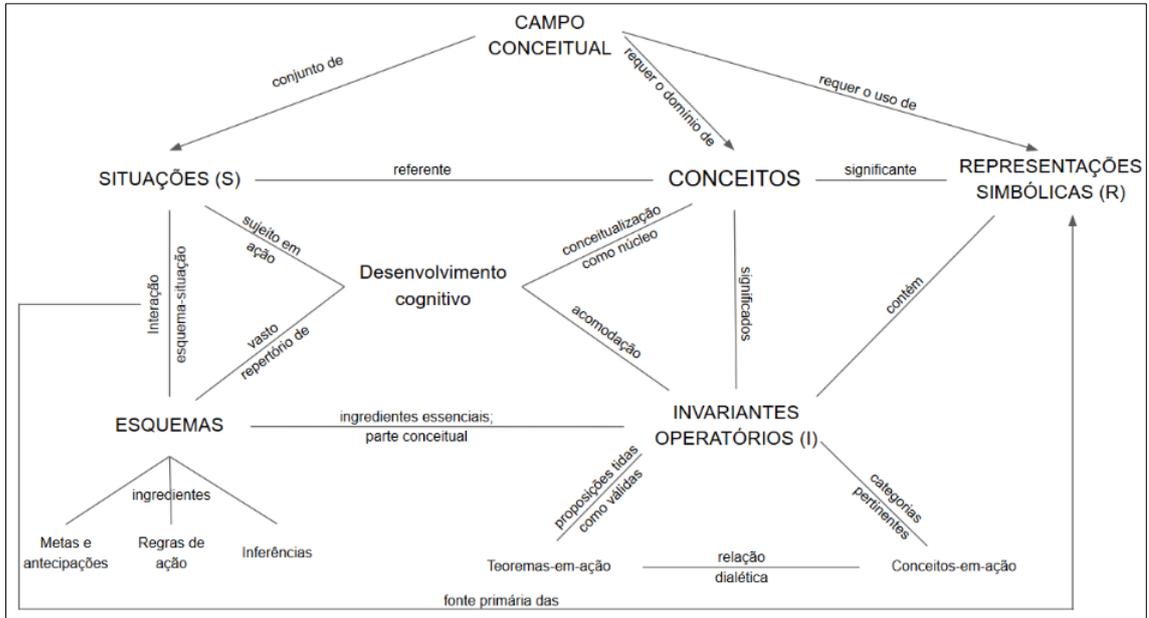
Grings et al. (2008) destacam que o desenvolvimento dos esquemas mentais gera, como consequência, o desenvolvimento cognitivo. Por esse motivo, as atividades em sala de aula assumem um importante papel. São elas as responsáveis por auxiliar no desenvolvimento de esquemas e pelo acionamento dos componentes destes esquemas (objetivos e antecipações, regras de ação, invariantes operatórios e inferências).

Em suma, a TCC promove um novo enfoque ao estudo do desenvolvimento cognitivo e da aprendizagem de competências complexas, propostos por Piaget, com ênfase nas ciências e na técnica.

Os conceitos-chave da teoria dos campos conceituais são, além do próprio conceito de campo conceitual, os conceitos de esquema (a grande herança piagetiana de Vergnaud), situação, invariante operatório (teorema-em-ação ou conceito-em-ação), e a sua concepção de conceito. (MOREIRA, 2002, p.9)

A Figura 2 apresenta um mapa conceitual, elaborado por Moreira, que destaca os conceitos-chave da teoria dos campos conceituais.

FIGURA 2 — UM MAPA CONCEITUAL PARA A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS



Fonte: Moreira, 2002, p.18

3.3 Orientações curriculares para o ensino médio

De acordo com as Orientações Curriculares para o Ensino Médio, documento publicado em três volumes pelo Ministério da Educação no ano de 2006, em seu segundo volume estabelece que a organização dos objetivos da área de ciências está relacionada a três grandes competências: a saber, representação e comunicação; investigação e compreensão; e contextualização sociocultural, e que esta organização não se faz completa sem a busca por ensinar aos estudantes a física como sendo uma disciplina com dois grandes aspectos, sendo eles o aspecto cultural, e o aspecto da compreensão do mundo (ORIENTAÇÕES CURRICULARES PARA O ENSINO MÉDIO, 2006).

As orientações curriculares para o ensino médio propõem que o ensino de Física seja pensado a partir do processo “situação – problema – modelo”, o que se alinha de forma bastante satisfatória com a ABP, visto que a organização de projetos com objetivo central do estudo de um conteúdo específico, visa ampliar e aperfeiçoar habilidades e competências dos estudantes. E é justamente a relação entre situações ou problemas do cotidiano, reais ou simulados, que permite que habilidades e competências sejam desenvolvidas, e durante a realização destes projetos sejam elaborados modelos, respostas, e soluções para estas situações e problemas, atendendo as necessidades de estudantes com diferentes níveis de habilidade e estilos de aprendizagem. Dessa forma a disciplina de Física deve:

[...] assegurar que a competência investigativa resgate o espírito questionador, o desejo de conhecer o mundo em que se habita. Não apenas de forma pragmática, como aplicação imediata, mas expandindo a compreensão do mundo, a fim de propor novas questões e, talvez, encontrar soluções. Ao se ensinar Física devem-se estimular as perguntas e não somente dar respostas a situações idealizadas. (ORIENTAÇÕES PARA O ENSINO MÉDIO, 2006, p.53).

Deste modo, torna-se relevante a aplicação da ABP como metodologia parceira na busca pelo estímulo à aprendizagem, pois é intrínseco aos estudantes o impulso para aprender, sua capacidade de realizar trabalhos, levando-os a sério, e colocando os estudantes no centro do processo de aprendizagem, segundo Markham (2008, p.20).

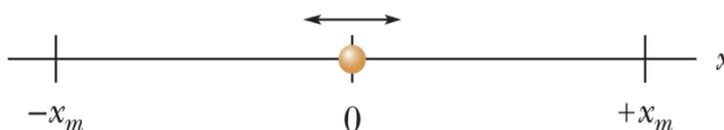
“Como qualquer método de ensino, a ABP pode ser utilizada de maneira efetiva ou não. Na melhor das hipóteses, a ABP pode ajuda-lo como professor a criar uma sala de aula de alto desempenho em que você e seus alunos formam uma comunidade de aprendizagem poderosa focada na realização, no autodomínio e na contribuição para a comunidade.”

Dessa forma, é perceptível a possibilidade de alinhamento entre as Orientações Curriculares para o ensino médio e a ABP, visto que a promoção da ampliação dos objetivos educacionais para além de competências estritas é um dos enfoques do documento: “O que se propõe aqui é a ampliação dos objetivos educacionais para além de competências estritas, ancoradas apenas em livros didáticos e exames vestibulares” (ORIENTAÇÕES PARA O ENSINO MÉDIO, 2006, p.61).

4 MOVIMENTO OSCILATÓRIO

A palavra oscilar tem uma de suas definições como sendo: “Mover ou fazer mover alternadamente, de um lado para outro; balançar(-se) em sentidos contrários” (HOUAISS; VILLAR; FRANCO, 2001); portanto, ao pensarmos em um movimento oscilatório, é natural que pensemos em movimentos que podem ser descritos, simplesmente, como movimentos de vai e vem, movimentos de um lado para o outro, para cima e para baixo e etc., como podemos perceber na Figura 3.

FIGURA 3 — UMA PARTÍCULA OSCILA REPETIDAMENTE PARA A ESQUERDA E PARA DIREITA, SOBRE O EIXO HORIZONTAL X, ENTRE AS EXTREMIDADES $-x_m$ e $+x_m$



Fonte: Fundamentos de Física. Halliday & Resnick, 2016 p.211

Schiller (2017) destaca que:

...A observação da mudança é um aspecto fundamental da natureza. Entre todas essas observações, mudanças periódicas são frequentes ao nosso redor. De fato, a vida cotidiana é observada através de oscilações e ondas: Falar, cantar, ouvir e ver seria impossível sem eles. (SCHILLER, 2017 p.287)

Do mesmo modo, a importância do estudo das oscilações é nítida para Nussenzveig (2014), pois:

...“Oscilações são encontradas em todos os campos da física. Exemplos de sistemas mecânicos vibratórios incluem pêndulos, diapasões, cordas de instrumentos musicais, e colunas de ar em instrumentos de sopro. A corrente elétrica alternada de que nos servimos é oscilatória, e oscilações da corrente em circuitos elétricos têm inúmeras aplicações importantes.” (NUSENZVEIG, 2014 p.39)

Todas as oscilações envolvem força e energia. Por exemplo, ao empurrar uma criança em um balanço para iniciar o movimento estes dois aspectos (força e energia) são imediatamente colocados em evidência.

Mantendo ainda o exemplo da Figura 3, podemos descrever esta situação como um movimento que oscila regularmente entre dois pontos. Usualmente, a terminologia empregada na física para descrever estes movimentos é a de que, tais

movimentos, são movimentos periódicos, ou seja, um movimento repetitivo de um objeto no qual ele continua a retornar a uma determinada posição após um intervalo de tempo fixo.

O tempo requerido para uma repetição deste movimento é chamado de período (T), e uma repetição completa do movimento é compreendido como um ciclo. A quantidade de ciclos que são realizados em uma dada unidade de tempo é definida como a frequência (f) do movimento.

Desse modo podemos estabelecer uma relação onde a frequência é compreendida por:

$$f = \frac{\text{n}^\circ \text{ de ciclos}}{\text{tempo}} \quad (1)$$

De outro modo, podemos reescrever esta equação pensando no tempo como sendo o período (T), e como o período é o tempo de apenas um ciclo, podemos reescrever a equação 1 de modo a traçar a relação entre período e frequência como análogos inversos.

$$f = \frac{1}{T} \quad (1.1)$$

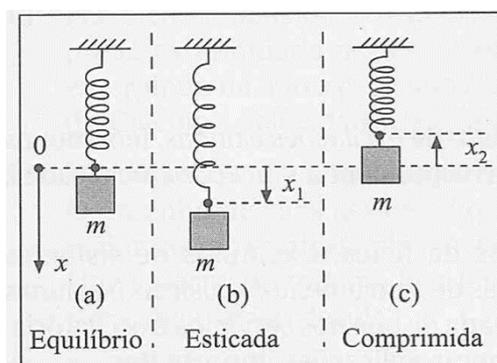
A unidade de medida do sistema internacional de unidades (S.I.), para frequência é o Hertz, ou seja, 1 *Hz* indica que certo movimento periódico se repete uma vez a cada segundo: $1 \text{ hertz} = 1 \text{ Hz} = 1 \frac{\text{ciclo}}{\text{segundo}} = 1\text{s}^{-1}$.

5 MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES

Tendo em vista que todos os movimentos periódicos podem ser modelados como combinações de movimentos harmônicos simples (MHS), a compreensão do MHS forma, então, a base para a compreensão das ondas mecânicas. Ondas sonoras, ondas sísmicas, ondas em cordas esticadas e ondas de água são todas produzidas por alguma fonte de oscilação. O movimento dos elementos do meio tem uma forte semelhança com o movimento periódico de um pêndulo oscilante ou um objeto preso a uma mola.

Sendo uma das modelagens mais simples para o MHS, o sistema massa mola, que é dado por um bloco de massa (m) preso a uma mola, conforme a Figura 4, onde em (a) percebe-se a posição de equilíbrio estável onde a tensão da mola equilibra o peso do bloco. Em (b) a mola sofre uma distensão, resultando em um deslocamento $x_1 > 0$, em relação à posição de equilíbrio estável, que corresponde a $x = 0$. Em (c) a mola sofre uma compressão, que corresponde com um deslocamento $x_2 < 0$ (Nussenzveig, 2014).

FIGURA 4 — SISTEMA MASSA MOLA EM SITUAÇÕES DISTINTAS DO MOVIMENTO.



Fonte: Nussenzveig, 2014, p.40

Desse modo, pode-se definir que o objeto de massa m irá oscilar em torno da posição de equilíbrio ($\vec{F} = 0$), se sobre ele agir uma força proporcional ao deslocamento (x_1 ou x_2) e que sempre atue na direção oposta ao vetor deslocamento. Portanto, podemos classificar como elementares ao movimento: a grandeza de F proporcional ao deslocamento (x), bem como a direção de F oposta ao vetor deslocamento (\vec{x}). Consequentemente, \vec{F} é denominada como Força Restauradora, que é dada por:

$$ma = F(x) = -kx \quad (2)$$

Onde podemos reescrever a aceleração (a) como a derivada segunda da posição $a = \ddot{x}$, o que nos permite reescrever a equação 2 como:

$$m\ddot{x} = F(x) = -kx \quad (2.1)$$

O que nos leva a:

$$\ddot{x} = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2x \quad (2.2)$$

Onde:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.3)$$

De forma análoga, podemos analisar tais equações em termos da energia (E) que está envolvida no MHS, como sendo a soma das energias potencial e cinética. Nos pontos de inflexão (momento em que o movimento muda de direção), ou seja, nos pontos x_1 ou x_2 para a posição do objeto temos que a energia cinética (E_c) é igual a zero, já a energia potencial elástica (E_{pel}) é máxima, sendo assim:

$$E = E_{pel} + E_c \quad (3)$$

onde a energia potencial elástica é dada por:

$$E_{pel} = \frac{1}{2}kx^2 \quad (4)$$

e a energia cinética por:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad (5)$$

Sendo assim, é possível escrever a equação 3 em função das equações 4 e 5:

$$E = \frac{1}{2}kx^2 + \frac{1}{2}mv^2 \quad (3.1)$$

e, ao considerarmos o movimento nos pontos de inflexão (onde $v = 0$),

$$E = \frac{1}{2}kx^2 \quad (3.2)$$

Ao pensar em x como sendo a amplitude do movimento, podemos denominar como A esta variável, para, por fim, reescrevermos a equação como sendo:

$$E = \frac{1}{2}kA^2 \quad (3.2)$$

De maneira análoga ao processo para os pontos de inflexão, podemos analisar que durante o movimento, no momento em que o bloco passa pela posição de equilíbrio a energia pode ser escrita apenas em função da energia cinética, tendo em vista que a velocidade é máxima (v_{max}) nesse ponto. Sendo assim:

$$E = \frac{1}{2}mv_{max}^2 \quad (6)$$

Ao percebermos que temos duas equações que descrevem o movimento, podemos escrever a equação 3.2 em função da equação 6:

$$\frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}mv_{max}^2 \quad (6)$$

O que nos permite encontrar a velocidade do bloco:

$$v_{max} = \pm A\sqrt{\frac{k}{m}} \quad (7)$$

Ao compararmos o MHS com o movimento circular (MC), percebemos algumas características semelhantes, como o período(T), a frequência (f) e a velocidade angular (ω). Sabemos que o período é dado no MC pela razão entre o tamanho da circunferência e a velocidade, o que pode ser descrito como:

$$T = \frac{C}{v_{max}} \quad (7)$$

Sabemos que a circunferência é calculada através da equação $C = 2\pi d$, onde d é o diâmetro da mesma. Ao traçar A de forma análoga que o diâmetro da circunferência pode ser entendido como a amplitude do movimento, podemos então escrever a equação para a circunferência como: $C = 2\pi A$, o que nos permite reescrever a equação do período do MC como:

$$T = \frac{2\pi A}{v_{max}} \quad (7)$$

E ao combinarmos a equação do período do MC com a velocidade máxima do MHS obtemos:

$$T = \frac{2\pi A}{A\sqrt{\frac{k}{m}}} \quad (7)$$

o que pode novamente ser reescrito como:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \quad (8)$$

Ao passo que se o período e a frequência são inversos, podemos escrever a frequência como:

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}} \quad (9)$$

Desse modo temos a velocidade angular ($\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$) que pode nos fornecer mais uma equação em função da frequência do movimento:

$$\omega = 2\pi f \quad (10)$$

6 METODOLOGIA

O produto visa à aplicação das metodologias ativas na sala de aula, especificamente na aprendizagem baseada em projetos, a ser aplicado em duas turmas de 3º ano do ensino médio de dois colégios, da região metropolitana de Porto Alegre (C1 e C2). Este projeto será desenvolvido durante as aulas regulares das duas turmas. As turmas são bem distintas, sendo a do C1 uma turma com 30 alunos e a turma do C2 uma turma bem reduzida, com 14 alunos; com idades entre 16 e 18 anos em ambas. A previsão de aplicação do projeto é de cinco etapas em cada turma, cada etapa é constituída de três horas aula semanais, totalizando 15 horas para o desenvolvimento do produto. A subdivisão das etapas em blocos menores permitirá ao professor um controle maior do andamento do projeto, das produções dos estudantes quanto às dúvidas e do material produzido nas aulas.

Neste projeto será abordada a construção de instrumentos em pvc, como um eixo estrutural do estudo de acústica. Os instrumentos previstos para a construção são dois, ambos inspirados no estudo de ondas em tubos abertos. Esta execução em montagem está baseada na teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud e procura utilizar as metodologias ativas, mais especificamente a teoria da aprendizagem baseada em projetos, como técnica de aplicação e avaliação.

Neste material, as atividades previstas procuram, através da ABP, propor ao estudante variadas situações, onde é possibilitado ao professor a identificação do desenvolvimento cognitivo do estudante, com a elaboração de esquemas e produtos que, segundo a ABP, podem ser: escritos, apresentações, produtos de mídia e construção. Estes produtos farão parte do processo avaliativo e de exploração dos conceitos estudados. Dessa forma, o estudante é levado a expor, mesmo que de forma indireta, seus invariantes operatórios durante as explicações e construções. Permitindo ao professor intervir, caso necessário, e procurar fomentar a significação e/ou a ressignificação de conceitos.

7 RESULTADOS - Relato das atividades

Neste capítulo, são descritos os métodos e como desenvolveram-se os conceitos que foram objetos de estudo desta pesquisa. Como foram abordados previamente à construção do instrumento musical e como foram relacionados durante a construção.

A abordagem do professor quanto à organização do conteúdo, bem como o cronograma das atividades desenvolvidas, realizou-se conforme o Quadro 1, onde são apresentadas as datas da aplicação das etapas, a estrutura dos conteúdos, bem como os objetivos de aprendizagem pensados e a abordagem adotada para tal.

Quadro 1 - Cronograma da aplicação.

ETAPAS	CONTEÚDOS	ABORDAGEM	OBJETIVOS
Primeira (21/03/2018) 150 min		Apresentação do projeto por exposição oral. Discussão e debates relacionando conceitos com perguntas problematizadoras. Questionário aplicado via <i>Google Forms</i> .	Formar grupos de trabalho. Levantar as concepções prévias dos estudantes acerca do assunto.
Segunda (28/03/2018) 150 min	Movimentos periódicos Movimento harmônico simples Relações entre os movimentos circulares e os movimentos harmônicos Período e frequência	Discussões e diálogos sobre os conceitos, exercícios de raciocínio, utilização de simulações e imagens animadas	Tipificar o MHS pelo movimento de uma massa em uma mola, relacionando a força restauradora e o deslocamento durante o movimento. Descrever e caracterizar a relação entre o MHS e o MCU. Associar fatores responsáveis pelo comportamento senoidal do MHS e suas relações com o MCU. Identificar os parâmetros necessários para calcular o período e a frequência de uma massa oscilante no final de uma mola ideal.
Terceira (11/04/2018) 150 min	Conceitos fundamentais da ondulatória Elementos das ondas Velocidade de propagação Características do som	Construção do instrumento musical. Discussões e diálogos durante os procedimentos. Exercícios de raciocínio e prática.	Distinguir características e propriedades da ondulatória. Associar o movimento ondulatório à velocidade de propagação do som.

			Reconhecer e relacionar as características do som com os movimentos ondulatórios. Confrontar interpretações científicas com interpretações baseadas no senso comum durante a construção do instrumento.
Quarta (18/04/2018) 150 min	Ondas estacionárias em tubos Harmônicos em tubos abertos	Afinação dos instrumentos musicais. Simulações e aplicativos para demonstração e utilização durante a afinação. Discussões e diálogos.	Compreender a formação das ondas estacionárias e tubos abertos. Relacionar os harmônicos presentes nos tubos preparados para os instrumentos com os conceitos explorados na literatura.
Quinta (09/05/2018) 100 min	Ensaio das canções propostas pelo professor de música da instituição.		

7.1 Planejamento e execução das aulas

Os tópicos de Física, pensados para a execução das aulas, foram organizados com base no material didático utilizado pela instituição; com o objetivo de abordar as relações entre os conceitos fundamentais do MCU e dos movimentos periódicos, bem como conceitos essenciais do MHS. Ainda que a formatação da distribuição desses conteúdos tenha sido realizada com base nos parâmetros estabelecidos pelo material disponível aos estudantes pela instituição, não se formatou a estrutura de forma fechada, mas sim buscando estabelecer relações e conexões entre os conteúdos e conceitos abordados, com as concepções prévias dos estudantes.

Desse modo, buscou-se estruturar as atividades das etapas, pensadas na sequência didática, de modo a minimizar lacunas conceituais, a partir das respostas dos estudantes em relação às suas concepções prévias. Maximizando relações entre conceitos e a abrangência destes nas possíveis estruturas conceituais dos estudantes dando sempre prioridade ao estabelecimento de raciocínios logicamente concatenados.

Os relatos da aplicação estão desenvolvidos nos tópicos a seguir.

7.2 Relato da primeira etapa - 21/03/2018

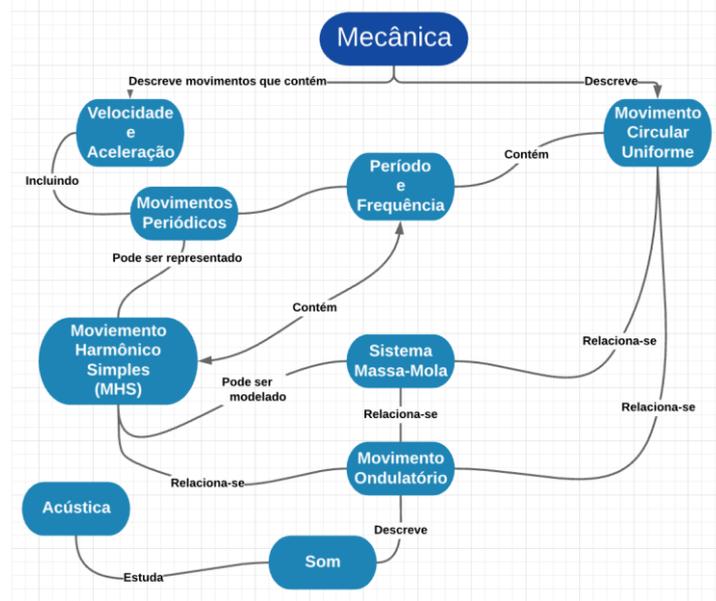
A primeira etapa da sequência didática teve duração de cento e cinquenta minutos e iniciou-se com os estudantes sendo apresentados ao projeto do professor ministrante. Explicando que o mesmo era necessário para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Consideramos importante essa abordagem de que este título é parte importante da carreira acadêmica/docente bem como necessidade da constante atualização profissional, mostrando que existe uma gama variada de possibilidades no mundo acadêmico.

Após esta fala inicial, a proposta de uma atividade diferenciada de ensino, foi então apresentada. Os estudantes foram convidados a construir um instrumento musical. E, através dessa construção, diferentemente de uma aula de música, onde possivelmente o foco seria o instrumento em si, o foco na aula de física seria a compreensão dos conceitos necessários para o entendimento dos fenômenos naturais, responsáveis pelo surgimento das ondas sonoras, ou seja, que o empreendimento de esforços seria no sentido de buscar a compreensão acerca de tópicos do estudo da acústica.

Ao nomearmos a proposta como sendo uma sequência didática, foi necessário explicitar que, naquele momento, os estudantes utilizariam uma metodologia denominada de Aprendizagem Baseada em Projetos e que seriam os protagonistas de sua aprendizagem, se afastando um pouco daquelas aulas que vinham sendo ministradas até a presente proposta. Inicialmente, foi construído um pequeno mapa mental do projeto, de forma colaborativa com os estudantes, utilizando a plataforma Lucidchart¹, como pode ser visto na Figura 5.

¹ <https://www.lucidchart.com>

FIGURA 5 — MAPA MENTAL DOS TÓPICOS DE FÍSICA RELACIONADOS



Fonte: Adaptado da plataforma Lucidchart. Produção do autor em conjunto com os estudantes

Em seguida, os estudantes responderam ao questionário, elaborado na plataforma Google Forms, para levantamento das concepções prévias, como pode ser visto na Figura 6. A íntegra destas questões de levantamento das concepções pode ser observada no APÊNDICE (C) — PRODUTO EDUCACIONAL.

FIGURA 6 — QUESTIONÁRIO PRÉ-ATIVIDADE APLICADO

Questionário pré-atividade

*Obrigatório

a) Em quais situações do cotidiano podemos perceber a presença de uma onda? *

Sua resposta

b) Para realizar uma palestra é preferível um ambiente fechado ou um ambiente aberto? Em qual dos dois ambientes o palestrante, sem o auxílio de qualquer outro aparelho, terá maior facilidade em ser escutado pela plateia, por quê? *

Sua resposta

Fonte: Adaptado da plataforma Google Forms

Logo após, com os estudantes dispostos em círculo, foi apresentado o vídeo *Can you hear this?*², fomentando o diálogo, a exploração de ideias e concepções dos estudantes sobre os assuntos abordados no vídeo. Algumas questões que foram utilizadas para tais situações:

- O que uma boia oceânica, uma criança em um balanço, o cone dentro de um alto-falante, um violão, átomos em um cristal, o movimento das cavidades torácicas e a batida dos corações têm todos em comum?
- Como podemos representar um som, explique sua resposta?

Neste momento, as exposições das concepções e das ideias dos estudantes sobre estes conceitos foram surgindo, dentre as quais é pertinente ressaltar:

- ... todas essas coisas estão se mexendo, acho que os átomos também
- ... tem uns rádios de carro que mostram umas barrinhas que se mexem com o som
- ... dá para representar o som escrevendo partituras, elas descrevem como devemos tocar cada nota musical, que é um som determinado³
- ... todas as coisas que se movem, na tua pergunta, são coisas que fazem movimentos repetitivos

Em seguida, alguns *sites* presentes na descrição do vídeo no Youtube foram visitados, como por exemplo:

- <http://onlinetonegenerator.com/hearingtest.html>

Onde os estudantes fizeram o teste de audição e se puseram a questionar o motivo de “pararem de ouvir” ou ainda “por que a frequência vai aumentando e eu vou ouvindo menos”, fizeram pequenas competições para ver quem ouvia mais.

Bem como o *site*:

- <https://www.tones.fm/tones/adventure>

Os alunos fizeram algumas criações musicais e exploraram o conteúdo musical do site. Procurando manter o mesmo ambiente de exploração e discussão, o

² https://www.youtube.com/watch?v=7_SXyQRWYZ0

³ O estudante que fez essa colocação estuda teoria musical

professor indicou o canal no Youtube onde era possível vislumbrar um instrumento musical semelhante ao que se pretendia construir.

- <https://www.youtube.com/user/snubbyj>.

É perceptível, na análise do comportamento dos alunos, em comparação com aulas “tradicionais”, que os vídeos deste canal, em especial os destacados abaixo, instigara

m a curiosidade e a vontade do estudante em elaborar tal projeto:

- <https://www.youtube.com/watch?v=0D2o8F2MOul>
- <https://www.youtube.com/watch?v=0hj0hShhZ5c>
- <https://www.youtube.com/watch?v=69mFL5Hj4s0>

Essa atividade tomou grande parte da aula, movimentando os estudantes em discussões sobre os *sítes* que foram visitados. Os conceitos de frequência, movimento repetitivo (oscilatório), ruído e música puderam ser percebidos em virtude de terem sido evocados pelos estudantes em diversos momentos da aula.

7.3 Relato da segunda etapa - 28/03/2018

Na segunda etapa os alunos foram, inicialmente, provocados pelo professor no sentido de conseguirem estabelecer hipóteses para explicar os sons aleatoriamente produzidos com os diversos materiais que estavam presentes no laboratório, entre eles, pedaços de metal, molas de caderno, arruelas e canos de PVC.

As questões a seguir são parte do diálogo do professor com os estudantes visando estimular os campos conceituais:

- O que faz uma onda ser uma onda?
- Qual a diferença entre música e barulho?
- Quais as características ou comportamentos que podemos perceber em fenômenos tipicamente caracterizados como sendo uma onda?

Tais questionamentos foram utilizados com o intuito de propiciar aos alunos um momento de discussão, não somente com o professor, mas também envolvendo toda a turma, permitindo a troca direta de concepções e hipóteses dos estudantes.

- ... “música tem ritmo, barulho não tem”
- ... “as ondas do mar parecem sempre se repetir”
- ... “as ondas são ondas pelo jeito com que elas se movimentam” (fazendo um movimento ondulatório com a mão)

Lembrando de trazer à tona na discussão que muitos instrumentos musicais consistem em uma coluna de ar dentro de um tubo de metal oco. Embora o tubo de metal possa ter mais de um metro de comprimento, é muitas vezes curvado sobre si mesmo uma ou mais vezes, a fim de economizar espaço. Se a extremidade do tubo for descoberta de tal forma que o ar no final do tubo possa vibrar livremente quando a onda sonora o atingir, então o final é referido como uma extremidade aberta. Se ambas as extremidades do tubo estiverem descobertas ou abertas, diz-se que o instrumento musical contém uma coluna de ar de extremidade aberta.

O professor procurou durante esta discussão trazer situações como, por exemplo, a exploração do *applet* “*Standing Wave Maker Interactive*”, onde os estudantes tiveram um momento expositivo dialogado. Neste instante procurou-se extrair da observação, bem como dos questionamentos e discussões precedentes,

novas situações que levassem à obtenção de um comprimento (ℓ) de um tubo aberto em função do harmônico fundamental.

A possibilidade de explorar o conceito de nó e antinó, perceptíveis visualmente no *applet*, proporciona ao professor a oportunidade de fomentar a ideia de que os instrumentos musicais de tubos abertos possuem um conjunto de frequências naturais, nas quais o ar dentro deles, vibra quando uma perturbação é introduzida em uma das extremidades. Essas frequências naturais são conhecidas como as harmônicas do instrumento; cada harmônico está associado a um padrão de ondas estacionárias. Ao fazer esta fala o professor remete o estudante ao termo “padrão de ondas estacionárias”, que servirá de base para a formalização matemática, isto é, quando a equação matemática for apresentada os termos que as compõem serão verificados por medida/observação direta no instrumento construído.

Terminada esta explanação, os estudantes foram convidados a executar exercícios de identificação e raciocínio acerca das características da ondulatória. Realizados os exercícios, novamente assiste-se a um vídeo onde se manifesta de forma mais clara as relações da ondulatória com os fenômenos acústicos e, mais uma vez, os estudantes são convidados a realizarem dois exercícios, onde as relações até então desenvolvidas e discutidas seriam postas em prática. Esse momento resultou e alguns comentários que cabem registro:

- ... pela primeira vez, parece que as coisas fazem mais sentido assim vendo e fazendo
- ... agora as contas não parecem tão complicadas assim, parece mais fácil, parece que consegui ver a física

Estes comentários mostram ao professor que, até o momento, os estudantes encontravam as respostas dos exercícios propostos, utilizando tanto os conceitos reestruturados oriundos das discussões quanto o uso do *applet* para elaborar hipóteses que auxiliassem na resolução dos exercícios. Trazendo aos estudantes a percepção quanto ao número de nós e antinós, para que, a partir destas percepções fosse possível discutir as seguintes relações:

1. O primeiro harmônico em um tubo aberto contém apenas um nó e dois antinós. Atentar também para o fato de que nesta situação temos somente meio comprimento de onda no interior do tubo.

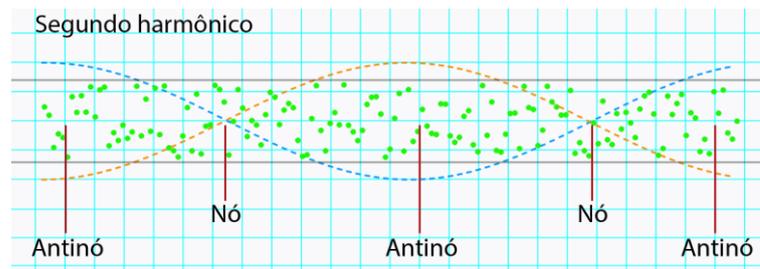
Figura 7 — REPRESENTAÇÃO DO PRIMEIRO HARMÔNICO.



Fonte: Captura de tela do applet (2018)

2. O segundo harmônico em um tubo aberto contém dois nós e três antinós. Atentar também para o fato de que nesta situação temos um comprimento de onda inteiro no interior do tubo.

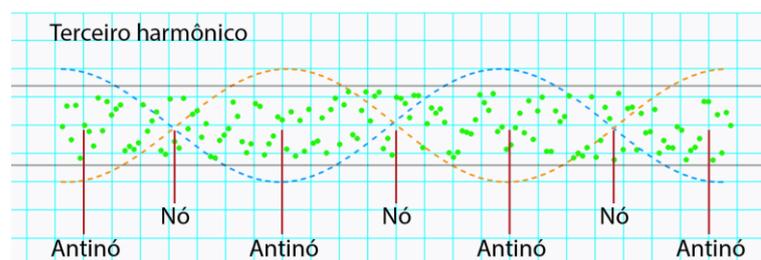
FIGURA 8 — REPRESENTAÇÃO DO SEGUNDO HARMÔNICO



Fonte: Captura de tela do applet (2018)

3. O terceiro harmônico em um tubo aberto contém três nós e quatro antinós. Atentar também para o fato de que nesta situação temos um comprimento de onda inteiro mais metade de um comprimento de onda no interior do tubo.

FIGURA 9 — REPRESENTAÇÃO DO TERCEIRO HARMÔNICO



Fonte: Captura de tela do applet (2018)

Lembrando que aparentemente a imagem estática não permite a visualização das zonas de compressão e rarefação do meio onde o som se propaga,

diferentemente da imagem produzida pelo *applet* onde é possível fazer esta visualização de forma clara.

Ao término das reflexões, discussões e dos exercícios considerou-se a construção de um gabarito dos mesmos, em conjunto com a turma, num momento em que os estudantes ditaram ao professor como organizar a linha de raciocínio e também como formular matematicamente as relações necessárias para a execução dos exercícios. Como havia pouco tempo sobrando para maiores manifestações, foi solicitado aos estudantes que, para a próxima etapa, trouxessem os equipamentos de laboratório, pois montaríamos o instrumento e começaríamos a testar algumas das hipóteses por eles levantadas.

7.4 Relato da terceira etapa - 11/04/2018

Nesta etapa, com duração de cento e cinquenta minutos, os estudantes puseram em prática os conceitos até então estudados para a montagem do instrumento musical. Alguns estudantes trouxeram materiais para construção e algumas ferramentas, como chaves *philips* e serra de cortar cano, por exemplo. Os estudantes também tiveram o apoio dos instrumentos fornecidos pelo professor, que completavam a lista de materiais necessários para a construção.

A construção dos instrumentos iniciou-se pelo cálculo dos comprimentos necessários para cada nota, em seguida, passou-se à medição e corte dos canos de PVC. Utilizando a tabela de frequências das notas musicais, os estudantes realizaram a projeção, via cálculo matemático, do comprimento de cada tubo para cada nota correspondente. Puseram-se então a efetivamente marcar e cortar os tubos. Foi necessário chamar a atenção para o fato de que sempre podemos cortar novamente, porém, nunca adicionar material após o corte. Sendo assim, foi solicitado que os estudantes deixassem uma margem de segurança de alguns milímetros para que fosse possível realizar a afinação dos tubos em um outro momento.

Esta etapa foi fundamental na promoção da cooperação entre os estudantes. Essa integração é importante no que se refere, por exemplo, à instrução pelos pares (*peer instruction*), que pode ser compreendida de forma mais clara na dissertação intitulada “INSTRUÇÃO PELOS COLEGA E ENSINO SOB MEDIDA: MÉTODOS ATIVOS DE ENSINO AUXILIANDO A CONSTRUÇÃO DE CONCEITOS BÁSICOS DE TERMODINÂMICA EM NÍVEL MÉDIO”, de MARIA, A. S. (2018). Mesmo não sendo o foco do presente trabalho, percebe-se a possibilidade de diluição desta metodologia durante a implementação do mesmo, bem como a integração entre prática e teoria. Tornou-se evidente a autonomia e a capacidade de resolução das situações por parte dos estudantes. Ficou evidente também a existência de heterogeneidades no comportamento dos estudantes, isso pode ser utilizado pelo professor no sentido de utilizar os que possuem maiores habilidades como motivadores aos que estão como maiores dificuldades. Mas também um cuidado para que o contrário não aconteça. Um momento de integração entre os grupos e o desenvolvimento de habilidades, tanto de operacionalização de ferramentas, como as de mensuração e organização das etapas necessárias para o alcance do objetivo final, foram claramente percebidos.

Essas habilidades são necessárias, por exemplo, na execução de trabalhos bem feitos ou minuciosos em qualquer área de atuação futura dos egressos.

Após o corte dos tubos necessários para cada instrumento, foi solicitado que o laboratório fosse organizado para a próxima atividade, que necessitaria dos celulares dos estudantes e de bastante foco para que a afinação fosse a mais fidedigna possível. Sendo assim, os estudantes procederam com a instalação do aplicativo de afinação, em alguns aparelhos, e organizaram de maneira autônoma que os grupos fariam as afinações em conjunto, sempre buscando afinar o mesmo tubo para todos os grupos.

Esta ideia partiu da necessidade dos estudantes em promover o silêncio durante as tentativas de afinação e também da troca de experiências que os grupos poderiam oferecer. A afinação se deu utilizando as baquetas de espuma para produzir o som próximo ao celular. Percebendo que o aplicativo utiliza a nomenclatura de A a G, notação em inglês, onde as sete primeiras letras do alfabeto correspondem às notas musicais, a saber: A = Lá, B = Si, C = Dó, D = Ré, E = Mi, F = Fá, G = Sol. Os estudantes trabalharam para afinar os instrumentos fazendo o desbaste necessário com a lixa, após testarem o som inicial do tubo. Caso necessário,

era feito um novo desbaste e novos testes. Esta etapa ocupou todo o restante do tempo destinado a essa atividade, promovendo tanto euforia quanto frustração em alguns estudantes. Mesmo assim ficou evidente a satisfação em estar trabalhando para a solução do problema de forma ativa.

7.5 Relato da quarta etapa - 18/04/2018

Na quarta etapa, com duração de cento e cinquenta minutos, os estudantes executaram alguns ajustes quanto à afinação do instrumento, em seguida, os estudantes foram convidados a executar uma visita guiada pela internet através de *sites* previamente selecionados pelo professor. Esta visita, na literatura, é denominada de *WebQuest*, para Dodge (1999):

... O objetivo instrucional de um *WebQuest* de curta duração é a aquisição e integração do conhecimento [...]. Ao final de uma *WebQuest* de curto prazo, um estudante estará envolvido com uma quantidade significativa de novas informações às quais dará sentido. Uma *WebQuest* de curto prazo é projetada para ser completada no período de uma a três aulas (DODGE, 1999, p. 1).

Deste modo, em paralelo a esta visita, uma série de atividades foram elaboradas para que, de forma autônoma, as informações fossem recolhidas dos *sites*, pensadas pelos estudantes, e transformadas em respostas que agregariam tanto as novas informações, quanto à mescla entre as suas concepções prévias, que imagina-se, estarem ressignificadas após todas as explorações e construções da sequência didática.

Busca-se para os estudantes, com essa *webquest*, ajudar a personalizar seus esforços na compreensão dos fenômenos estudados, bem como aprimorar e fortalecer as habilidades na busca por informações na *web*. As respostas dissertativas têm como objetivo o desenvolvimento das habilidades linguísticas dos estudantes, incentivando eles a usarem o novo vocabulário desses *sites/artigos* em suas próprias argumentações.

Percebe-se, no uso da *webquest*, uma valorosa abordagem, não somente de forma complementar ao projeto, mas também como metodologia que oportuniza aos estudantes um meio estruturado de coletar e aferir informações na *web*, otimizando o tempo em sala de aula. Tempo este que, normalmente, seria gasto na busca por informações. A agilidade e o poder de engajamento destas atividades trouxeram falas dos estudantes como:

— ... essa ideia de relacionar os *sites* com as perguntas, faz a gente não perder tanto tempo procurando por respostas [...] dá para passar mais tempo pensando em como escrever sem copiar direto do *site*.

— ... é mais tranquilo quando só preciso me preocupar em como explicar o que entendi do que li. Se a gente sabe que a informação ali é correta não ficamos inseguros nem perdemos tempo com outras buscas em sites duvidosos.

Dessa forma, compreendemos que esta metodologia alternativa aumenta a motivação dos estudantes em sala de aula, servindo como uma ferramenta alternativa de avaliação da aprendizagem dos estudantes. Oferecendo ao professor uma apreciação do grau de aquisição e implementação do conhecimento pelos estudantes, quando solicita aos estudantes o posicionamento ativo na sua jornada acadêmica. Pode-se inferir também que a *WebQuest* oferece ao estudante um olhar diferenciado para a internet, esta passa a ser uma ferramenta importante na transformação da informação em conhecimento.

7.6 Relato da quinta etapa - 09/05/2018

Na quinta etapa, que teve sua execução no contraturno das aulas regulares, os estudantes tiveram a oportunidade de trazer os instrumentos musicais construídos ao seu objetivo final. Os estudantes puseram-se a ensaiar para a apresentação em conjunto com os estudantes do Ensino Fundamental I, organizados pelo professor de música da instituição. Os ensaios foram o momento onde, para o professor ministrante da sequência didática, o projeto tornou-se não somente uma nova abordagem metodológica, mas sim uma oportunidade de trabalhar a comunidade escolar de forma efetiva.

Ao possibilitar a interação com as séries iniciais, ao tornar o instrumento parte integrante de um evento, percebe-se nos estudantes o senso de realização de um trabalho completo. O comprometimento com os ensaios, a interação com os estudantes das séries iniciais, a empatia, a parceria e as atitudes respeitadas formaram um senso de comunidade escolar e de união.

O produto, elaborado pelos “alunos grandes”, instigou a curiosidade dos estudantes dos anos iniciais, fazendo com que cultivem o interesse pela ciência, pelo entendimento do mundo e pelo conhecimento científico. Além disso, permitiu o diálogo com outra área do conhecimento (a música), dando o devido significado à interdisciplinaridade.

7.7 A avaliação

A avaliação da aprendizagem dos estudantes deu-se ao longo do processo, na observação do professor, no comportamento e engajamento dos estudantes, e também, por meio de conversas informais nas quais se concentrou esforços em compreender a evolução cognitiva dos estudantes.

Um questionário de verificação foi pensado e aplicado para que houvesse subsídios para a comparação das respostas dos estudantes ao primeiro questionário, onde foram recolhidas as sínteses das concepções prévias. A análise desse material se fez por comparação direta entre os conceitos percebidos como cientificamente aceitos e a ressignificação destes após as etapas da sequência.

7.8 Análise da aplicação do produto

Objetivando avaliar a receptividade da abordagem utilizada na sequência didática implementada e a opinião dos estudantes sobre a experiência geral com o projeto, construiu-se um questionário com cinco perguntas, que foram respondidas através da plataforma Google Forms, sem a necessidade de identificação por parte dos estudantes. O questionário, enviado para os estudantes, encontra-se no APÊNDICE A — QUESTIONÁRIO DE OPINIÕES DURANTE A EXECUÇÃO DAS ETAPAS DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA.

Analisando as respostas dos estudantes sobre a primeira pergunta, a saber: “Quanto à abordagem para o conteúdo de acústica, o que tens a relatar sobre a tua experiência, ou seja, qual a tua opinião quanto à abordagem?”, percebe-se que a maioria dos estudantes é favorável à abordagem utilizada, compreendendo-a como “mais interessante”, ou ainda, “mais livre e cativante”. Conforme excertos, abaixo:

O conteúdo não me agradou muito, particularmente não gosto de física, mas a aula foi mais interessante e com espaço para poder interagir mais tempo, usar mais a internet facilitou bastante, é mais ágil.

Gostei bastante desse jeito diferente, colocar em prática o conteúdo faz a gente enxergar o que tá acontecendo, acho que ajudou a entender melhor o conteúdo desse jeito.

Achei bem mais livre e cativante a maneira como estudamos o conteúdo de acústica. Dá para ver que física faz sentido quando a gente sabe o que tá acontecendo, vendo e construindo como fizemos. Gostei do jeito, poderia ser sempre assim.

Dois estudantes ressaltaram a construção do instrumento musical como o diferencial atrativo da aula.

Fazer o instrumento foi algo que me agradou muito, prefiro estudar assim fazendo as coisas e vendo como elas funcionam, tudo fica mais claro de entender. A aula fica mais dinâmica.

Achei extremamente importante a construção do instrumento musical, nunca temos a oportunidade de construir coisas e fazer assim torna tudo mais atrativo. A escola deveria adotar isso para todas as disciplinas que desse para ser feito.

Quanto à questão “Sobre o método do trabalho, qual a tua opinião?” A maioria dos estudantes se mostra favorável ao trabalho por projetos e relata como sendo um diferencial para a compreensão do conteúdo.

Projetos assim fazem tu entender o que está sendo trabalhado na hora, fora que parece mais importante do que só copiar o que tá no quadro, bem melhor.

Quando a gente faz projetos assim, às vezes, dá um monte de stress com o grupo, mas no fim sempre a aula é mais divertida. Outra coisa é que nem se percebe que tá estudando, quando tu vai responder as coisas parece um assunto normal, não um troço decorado.

Em relação à terceira pergunta “O que achaste do instrumento musical em si? Ajudou a compreender o assunto?”, os estudantes demandaram maior autonomia para a construção de diferentes tipos de instrumentos e percebem a construção como um facilitador para a compreensão do conteúdo. Nas palavras dos estudantes:

Gostei do instrumento ficou mais fácil de entender o que acontecia na hora de produzir o som, mas se a gente pudesse escolher outras coisas para construir também poderia ser mais dinâmico, daria para fazer outros tipos de sons e todo mundo tocaria alguma coisa diferente.

Se eu fosse escolher montaria um instrumento só com os canos, sem a parte de madeira. Tem que pensar mais em como fazer pra ficar funcional mas acho que seria mais impactante. Ajudou sim a entender o conteúdo, acho que essa foi uma das poucas vezes que foi bem fácil entender praticamente tudo.

Percebe-se essa demanda por diferentes instrumentos como positiva, pois demonstra que o envolvimento dos estudantes com o projeto ultrapassa a expectativa inicial. Tal demanda oportuniza abordagens com maior duração, ou ainda, conduz tanto os estudantes quanto o professor para projetos semelhantes, onde outros tópicos de Física podem ser abordados.

Os estudantes responderam de forma bem distinta à quarta questão “Sobre a apresentação musical com as crianças do Ensino Fundamental I, qual o seu parecer? Foi interessante?”. Aqueles que estavam no palco tocando o instrumento tiveram uma percepção diferente daqueles que assistiam à apresentação. Nas palavras dos estudantes que estavam no palco:

Morri de vergonha no palco, mas gostei de tocar algo que nós tínhamos construído e ensaiado. Foi gratificante.

Eu gostei de tocar na apresentação, foi como finalizar um trabalho importante.

Já para os estudantes que assistiram à apresentação da plateia:

Eu jamais iria pro palco, mas foi legal de ver que fizemos um bom trabalho e que ajudou as crianças na apresentação.

Foi gratificante ver o instrumento no palco, mas ao mesmo tempo dá um certo nervosismo achando que as coisas vão dar errado. Gostei de ter assistido e ajudado a construir os instrumentos.

Quanto à pergunta “Sobre os questionários antes e após o projeto, o quão fácil ou difícil eram os testes antes e depois do projeto?”. A maioria dos estudantes traça um paralelo entre as respostas que lembravam de ter respondido antes e depois, evidenciando a facilidade e a naturalidade para responder o questionário após o projeto “bem mais fácil de responder”, ou ainda, “quando se entende o conteúdo, responder às perguntas sobre ele fica natural”. Nas palavras dos estudantes:

Lembro que respondi as questões do primeiro com mais dificuldade, parecia que eu não tinha as palavras certas para responder, depois do projeto eu sabia tudo, era bem mais fácil responder o questionário. O jeito que a gente estudou sem estudar só com quadro e caderno foi bem mais produtivo para mim.

Quando se entende o conteúdo responder as perguntas sobre ele fica natural, parece que tu domina o assunto com muito mais facilidade justamente pelo jeito que se estudou. Antes foi complicado responder eu até sabia um pouco pra responder mas ficava mais em dúvida do que eu estava falando.

Sendo assim, percebe-se uma boa aceitação dos estudantes às atividades executadas durante a aplicação do produto educacional. Também é possível destacar a demanda por maiores ramificações quanto ao objeto a ser construído. Possibilitando ao professor maior amplitude de instrumentos a serem construídos nas futuras aplicações do produto educacional.

7.9 Análise das questões de verificação

Na tentativa de aferir a aprendizagem dos estudantes acerca dos conteúdos trabalhados durante a execução da sequência, foram aplicadas, posteriormente à sequência, as atividades abaixo analisadas e que podem ser verificadas no APÊNDICE B — QUESTÕES DE VERIFICAÇÃO, para as duas turmas participantes do projeto. O somatório do número de participantes é de 48 estudantes.

A análises das respostas dos estudantes sobre as perguntas do questionário, bem como a comparação entre os acertos anteriores e posteriores à aplicação da sequência se fez de forma direta. Buscando traçar relação entre conceitos que foram evocados de maneira cientificamente aceitável anteriormente e seu paralelo conceitual com questões que suscitam os conceitos trabalhados durante a sequência didática. As análises e os gráficos a seguir trazem as relações e o percentual de acertos, traçados entre as questões do questionário de levantamento das concepções prévias dos estudantes, com as questões de verificação, que evoquem a mesma base conceitual para a construção de uma resposta cientificamente aceitável.

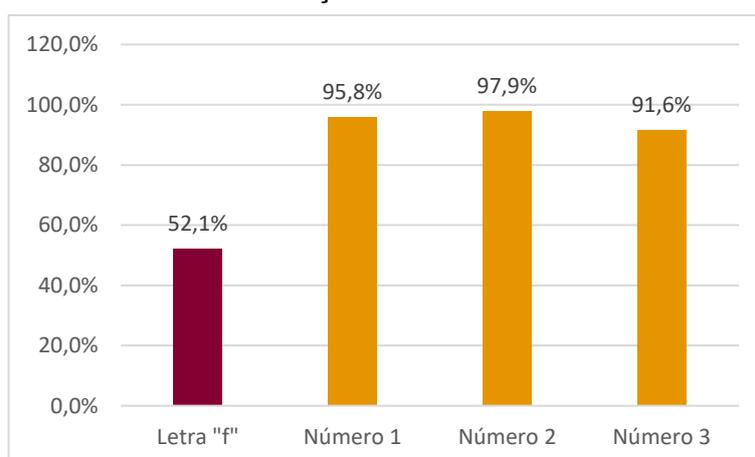
Cabe lembrar que os professores são encorajados a previamente revisar as atividades/questões para julgar quais são as mais apropriadas para suas aulas ou mesmo substituí-las.

O objetivo das três primeiras questões é perceber a compreensão dos estudantes quanto à identificação dos componentes básicos de uma onda, do comprimento de onda, bem como a habilidade para calculá-lo dado um padrão de onda e seu comprimento. A primeira questão (“Determine o número de cristas e vales e o número de ondas exibidas no padrão de onda transversal mostrado abaixo”) teve uma margem de 95,8%, de acertos dos estudantes participantes, o que corresponde a 46/48. Quanto à determinação do número de cristas e vales, percebe-se nos 4,2% de estudantes que não obteve êxito na questão, a confusão entre os conceitos de cristas e vales.

Do mesmo modo, na segunda questão (“Identifique as compressões e as rarefações nos seguintes padrões de onda longitudinais”) os estudantes obtiveram uma margem de 97,9% de êxito na resposta, onde apenas um estudante não respondeu a questão. Questionado o motivo para a resposta estar em branco o estudante respondeu que “não lembrava” e por esse motivo não havia respondido.

A terceira questão, de caráter um pouco mais matemático, tem como objetivo analisar a compreensão do estudante quanto à capacidade de solução matematizada do problema. Para tal, o estudante dispõe tanto do recurso escrito quanto imagético como referencial para elaborar a solução. Nesta questão o índice de acerto foi de 91,6%. Quatro estudantes não lograram êxito na busca pela resposta correta. Indagados, dois dos estudantes trouxeram como argumento a “falta de dados, pois sem a velocidade e a frequência, não seria possível calcular o comprimento de onda”. Com isto pode-se inferir o engessamento deste estudante quanto à fórmula matemática “ $v = \lambda f$ ”, mas também a não compreensão do enunciado, tendo em vista que não exige, a priori, a necessidade do uso da velocidade e/ou frequência na conclusão do exercício. Os outros dois estudantes não quiseram expor o porquê do equívoco. O Gráfico 1 é o paralelo entre a questão de letra “f” e as questões de números 1, 2 e 3.

GRÁFICO 1 COMPARAÇÃO DIRETA ENTRE RESPOSTAS



Fonte: Autor

Nesta comparação podemos perceber que os estudantes demonstram um crescimento conceitual expressivo quanto à identificação das características de uma onda. É possível inferir que os estudantes compreendem de maneira evidente os componentes básicos de uma onda, bem como a habilidade de manipular matematicamente os conceitos.

Nas questões quatro e cinco foca-se na compreensão de como um padrão de onda é afetado por mudanças nas propriedades de uma onda (como frequência e velocidade). Na quarta questão, os estudantes são apresentados a um padrão de onda com um determinado comprimento de onda e amplitude. Eles devem então,

identificar entre três opções, o padrão de onda que contém as características do comprimento de onda e amplitude alteradas conforme o enunciado.

O índice de acerto dessa questão ficou em 83,3% o que representa um número elevado de estudantes que obtiveram êxito na identificação das características solicitadas.

Na quinta questão, os estudantes de forma análoga à quarta, são novamente apresentados a um padrão de onda. Pede-se então que os estudantes identifiquem entre três opções aquela que resultaria das alterações para que o padrão inicial tivesse duas vezes a frequência, mas ainda movendo-se com a mesma velocidade. Nesta questão, o índice de acerto ficou muito próximo ao anterior, com 81,2%. Isto pode ser utilizado como um indício da compreensão dos estudantes na diferenciação das características da ondulatória.

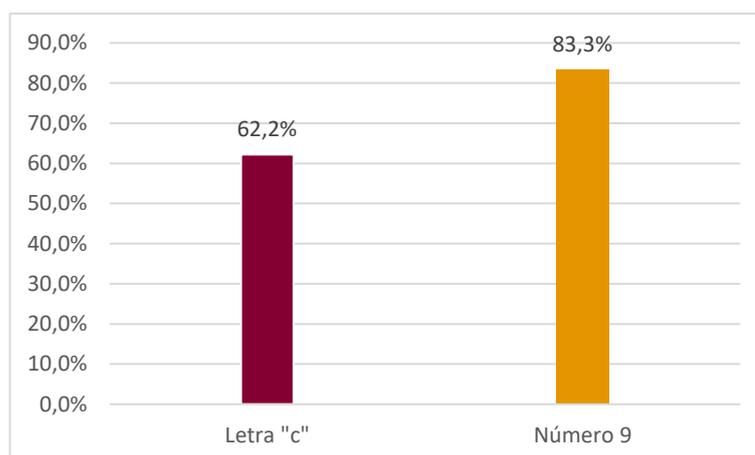
Na sexta questão, “Identifique o padrão de onda estacionária para uma coluna de ar, em um tubo aberto, que esteja vibrando com um padrão de onda de primeiro, segundo e terceiro harmônicos.”, busca-se a identificação dos padrões de ondas estacionárias, para o que se denomina de harmônico de uma coluna de ar em um tubo aberto. Nesta questão, 97,9% dos estudantes obteve êxito. Pode-se inferir a relação entre este alto índice de acertos com o enfoque dado ao assunto durante a construção do instrumento musical.

Já na sétima questão, predominou o caráter matemático, onde os estudantes receberam o comprimento de um tubo de extremidades abertas e o comprimento de onda de um harmônico desconhecido, sendo solicitado a identificação do padrão de ondas estacionárias para esse harmônico. O índice de acertos foi de 79,2%. Este índice, diferentemente dos demais, evidencia a dificuldade ainda presente na matematização do conceito. A análise do material entregue pelos dez estudantes que não lograram êxito na questão permite inferir a necessidade de uma revisão conceitual sobre as relações entre o comprimento do tubo aberto e o harmônico resultante do padrão de ondas estacionário. Pode-se inferir também a baixa participação destes estudantes durante o processo de obtenção do comprimento dos tubos na fase experimental da sequência didática, como um dos possíveis motivos.

A oitava e nona questões, com o objetivo de provocar o estudante a evocar os conceitos mais consolidados, ou ainda em processo de sedimentação nos campos conceituais dos estudantes, trazia a necessidade da relação entre periodicidade e música, e também evocava o conceito de timbre para a diferenciação de

características do som. Nestes casos, os índices de acertos estiveram em 83,3% para a oitava questão e 91,2% para a nona. O Gráfico 2 traz a comparação entre a questão letra “c” do questionário de levantamento das concepções prévias dos estudantes com a questão de número 9 das questões de verificação.

GRÁFICO 2 COMPARAÇÃO DIRETA ENTRE RESPOSTAS



Fonte: Autor

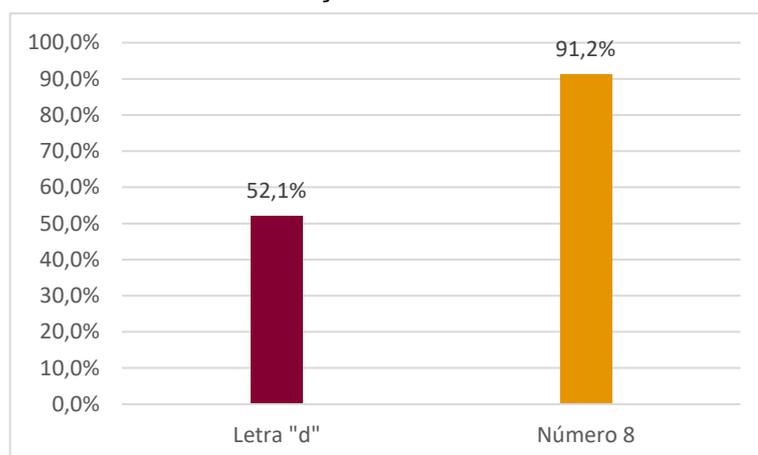
A relação conceitual entre estas questões é possível, pois ambas solicitam que o estudante evoque o conceito de timbre, que é a terminologia utilizada para descrever os aspectos de um som. Para Nussenzveig (2014

O timbre representa uma espécie de “coloração” do som”. A explicação física das diferenças de timbre é que nosso ouvido reconhece como a mesma nota “lá” duas ondas sonoras periódicas da mesma frequência [...] embora os perfis de onda correspondentes possam ser muitos distintos.

Desse modo, percebeu-se com o comparativo que os estudantes assimilaram de um modo mais claro o conceito de timbre e as características deste conceito.

Já o Gráfico 3 traça o paralelo entre a questão de letra “d” e a questão de número 8.

GRÁFICO 3 COMPARAÇÃO DIRETA ENTRE RESPOSTAS

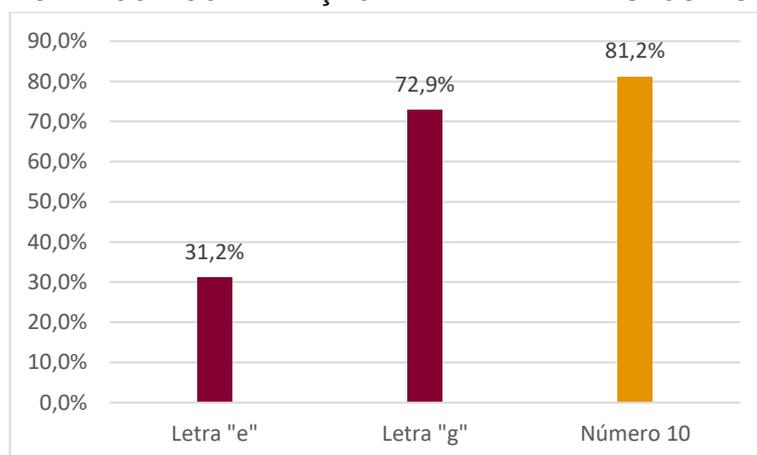


Fonte: Autor

Ao solicitar que os estudantes explicassem a formação do som em um instrumento musical e, posteriormente, relacionar esta explicação com a diferenciação entre ruídos, batidas e música, espera-se que o estudante tenha compreendido tanto as características da formação da onda sonora em um instrumento musical, quanto a necessidade da periodicidade para a caracterização de um ruído como música.

A décima questão é a mescla de duas questões apresentadas anteriormente à aplicação da sequência didática; a saber, questões letras “e” e “g” do levantamento das concepções prévias dos estudantes. Nesta questão, os estudantes dissertaram sobre a propagação do som, explicitando a necessidade da existência de um meio para tal. O índice de acerto foi de 91,6%, o que representa 44 dos estudantes participantes. No Gráfico 4 pode-se perceber a relação entre a questão de letra “e” e a questão de letra “g” com a questão de número 10.

GRÁFICO 4 COMPARAÇÃO DIRETA ENTRE RESPOSTAS



Fonte: Autor

Ao serem solicitados a explicar a propagação do som, inicialmente, os estudantes demonstram alguma confusão ao explicitarem suas concepções prévias. Respostas como “O som se propaga saindo do objeto emissor, seguindo o ângulo na qual ele está direcionado até chegar aos espectadores”, ou ainda “Normalmente com o auxílio de caixas de som que amplificam o som produzido e propagando por todo o ambiente.”, foram inicialmente trazidas pelos estudantes como corretas para a questão de letra “e”.

Já ao serem indagados quanto à necessidade, ou não, de um meio material para que o som se propague, os estudantes demonstram uma compreensão prévia próxima da cientificamente correta. Ao serem novamente questionados sobre estes conceitos na questão número 10 do questionário, percebe-se que os estudantes demonstram maior compreensão e explicações mais próximas do que é aceito.

A comparação direta entre as respostas das questões aplicadas aos estudantes, antes e depois da sequência didática revela considerável crescimento no índice de acertos. O que permite inferir a eficácia da sequência didática em questão. Concomitantemente, percebe-se ao longo da aplicação da sequência didática maior motivação dos estudantes quanto ao envolvimento com o objeto de estudo, o que, acredita-se, também influencia positivamente nos resultados obtidos.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Transferir ao estudante o papel de protagonista, transformando-o em agente ativo no processo de aprender, é o que se acredita, ser fundamental, para que conceitos de Física passem a ser aprendidos e, principalmente, compreendidos de forma significativa. Diferentemente do que se percebe atualmente, onde os conceitos e a matematização dos problemas são repetidos pelos estudantes de forma mecânica visando somente a aprovação.

Urge a necessidade da utilização de metodologias que promovam a autonomia do estudante, visando uma formação de caráter mais amplo e dinâmico, em consonância com o desenvolvimento de habilidades que maximizem as potencialidades do estudante. Potencialidades estas que vão desde a análise de fenômenos até a proposição de soluções para situações-problema que enfrentarão.

É neste aspecto que se propõem fomentar, através da sequência didática pensada e aplicada, utilizando a aprendizagem baseada em projetos como metodologia condutora, a motivação dos estudantes para resolver de forma diligente as situações-problema que enfrentarão ao longo da jornada acadêmica e nas suas vivências do cotidiano. Visando proporcionar ao estudante a capacidade de construir argumentações consistentes acerca dos conhecimentos que possui sobre os conceitos e fenômenos estudados.

Percebeu-se, durante a aplicação da sequência didática, que originou esta dissertação, maior motivação dos estudantes frente às situações-problema apresentadas, tanto em função da vontade de explicar os fenômenos observados com os conhecimentos prévios já consolidados até o momento, quanto à desacomodação causada pela perda do papel passivo na sala de aula. Aspecto este que foi fundamental para o andamento da sequência didática pensada.

Portanto, é possível afirmar que a sequência didática apresentou resultados satisfatórios, reconhecendo a importância da utilização da abordagem de trabalho da sequência didática, utilizando a aprendizagem baseada em projetos como condutora das dinâmicas em sala de aula, visando proporcionar ao professor e aos estudantes processos que permitam aperfeiçoar propostas de aprendizagem.

Oportunizando aos estudantes diferentes maneiras de exercitarem a curiosidade intelectual, recorrendo às abordagens próprias, tanto das vivências quanto das experiências educacionais, para a resolução de problemas do cotidiano.

Criando cultura de senso crítico, investigativo e reflexivo para, de forma plena, exercitar suas habilidades em expressar e partilhar informações de forma que se façam compreendidos. Argumentando sempre com base em fatos e dados confiáveis, defendendo suas ideias e concepções, mas também abertos à argumentação e evolução conceitual nos variados campos do conhecimento.

Neste sentido, acredita-se que este produto educacional constitui-se como uma ferramenta eficaz de ensino-aprendizagem para o professor que compreende a autonomia do estudante, e a experimentação de novas abordagens como papel fundamental da docência.

Desse modo, com o desejo de que este trabalho possa somar na prática pedagógica daqueles que percebem a educação como transformadora de realidades, com potencialidade para despertar o melhor de cada estudante, e como sendo o único caminho viável para uma sociedade mais justa, fraterna e desenvolvida.

Entendendo que o conhecimento não pode ser transmitido, mas sim, mediado e construído de forma ativa nos campos conceituais de todos os envolvidos nos procedimentos didático-pedagógicos e compreendendo a importância do rompimento com a lógica dos processos e procedimentos tradicionais de ensino aprendizagem. Projetando o estudante como protagonista deste novo processo e o professor como mediador do conhecimento acadêmico faz-se de relevância, este produto educacional, na busca pela aprendizagem significativa dos conceitos fundamentais em Física.

REFERÊNCIAS

- ANDERSEN, A. S.; HEILESEN, S. B. **The Roskilde Model** : Problem-Oriented Learning and Project Work. [s.l.] Springer International Publishing Switzerland, 2015.
- BARRON, B. J. S. et al. Doing With Understanding: Lessons From Research on Problem and Project-Based Learning. **The Journal of the Learning Sciences**, n. 3, p. 271–311, 1998.
- BENDER, W. N. **Aprendizagem Baseada em Projetos**: educação diferenciada para o século XXI. Tradução Fernando de Siqueira Rodrigues. Revisão técnica: Maria da Graça Souza Horn. Porto Alegre: Penso, 2014.
- BOSS, S.; LARMER, J.; MERGENDOLLER, John R.; **PBL for 21ST Century Success**. Buck Institute for Education (BIE). 2013.
- BOSS, S.; KRAUSS, J. **Reinventing project-based learning**: your field guide to real-world projects in the digital age. EUA: International Society for Technology in Education (ISTE), 2007.
- BLUMENFELD, P. C. et al. Motivating Project-Based Learning: Sustaining the Doing, Supporting the Learning. **Educational Psychologist**, v.26, n.3, p.369–398, 1991.
- BRASIL. Secretaria de Educação Básica. Ministério da Educação. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio** – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília, 2006. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf> Acesso em 04 mai. 2018.
- COOK, R.; WEAIVING, H.; GORDON, J. **Key competence development in school: education in Europe: KeyCoNet's review of the literature**: a summary. Bruxelas, Bélgica, 2012. Disponível em: <http://keyconet.eun.org/c/document_library/get_file?uuid=3a7a093c-4c8f-473c-8702-f38ed86bb730&groupId=11028>, Acesso em 25 de junho de 2018.
- DODGE, B. **Algumas idéias sobre WebQuests**. San Diego State University. Tradução e adaptação: Simão Pedro P. Marinho, 1999.
- De MARIA, A. S. **Instrução pelos colegas e ensino sob medida**: métodos ativos de ensino auxiliando a construção de conceitos básicos de termodinâmica em nível médio. 2018. 135f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tramandaí, 2018.
- FRANCHI, A. Considerações sobre a teoria dos campos conceituais. In Alcântara Machado, S.D. et al. **Educação matemática**: uma introdução. São Paulo. EDUC. p.155-195. 1999.
- GRANT, M. M. Getting a grip on project-based learning: theory, cases and recommendations. **Meridian**, Raleigh, v.5, n1, 2002.

GRINGS, E. T. O. CABALLERO, C. MOREIRA, M.A. Uma proposta didática para abordar o conceito de temperatura a partir de situações, à luz da teoria dos campos conceituais de Vergnaud. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia** (de 2008 a 2009), p.1-21.

GRINGS, E. T. O.; MOREIRA, M. A.; CABALLERO, C. **Significados atribuídos pelos estudantes a conceitos da Termodinâmica**. In: Actas del V Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa, Madrid, 2006.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física: gravitação, ondas e termodinâmica**. 10. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

HESTENES, D. **Modeling methodology for physics teachers**. Proceedings of the International Conference on Undergraduate Physics Education. 1996.

HEWITT, P. G. **Física conceitual**. Tradução: Trieste Freire Ricci; revisão técnica: Maria Helena Gravina. 2015

HOUAISS, A.; VILLAR, M. S.; FRANCO, F. M. M. **Dicionário Houaiss da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2001. 2925p.

KAPER, W. H. e GOEDHART, M. F. "Forms of Energy", na intermediary language on the road to thermodynamics? Part I. **International Journal of Science Education**. v.24, n 1, p.81-95, 2002.

KNIGHT, R. D. **Física: uma abordagem estratégica: mecânica newtoniana, gravitação, oscilações e ondas**. Porto Alegre, Bookman, 2009.

LARMER, J.; ROSS, D.; MERGENDOLLER, J. R. **PBL starter kit: to-the-point advice, tools and tips for your first project in middle or high school**. [s.l.] Buck Institute for Education, 2009.

LARMER, J.; MERGENDOLLER, J.; BOSS, S. **Setting the standard for project based learning**. [s.l.] ASCD, 2015.

MARKHAM, T.; LARMER, J.; RAVITZ, J. (Org.). **Aprendizagem Baseada em Projetos: guia para professores de ensino fundamental e médio**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2008. 200 p. Tradução Daniel Bueno.

MERGENDOLLER, J. R.; MAXWELL, N L.; BELLISIMO, Y. **The effectiveness of problem-based instruction: A comparative study of instructional methods and student characteristics**. Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning, v. 1, n. 2, p. 5, 2006.

MOREIRA, M. A. (2002). A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. **Investigações em Ensino de Ciências**, 7(1), 7-29.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica: fluidos, oscilações, calor e ondas**. 5. ed. [s.l.]: Blucher, 2014. 2 v.

OSTERMANN, F.; RICCI, T. F. **Noções básicas de mecânica quântica**: um levantamento junto a professores de física de ensino médio. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 15., 2003, Curitiba. Anais

PERUZZO, J. **Experimentos de Física Básica**: termodinâmica, ondulatória e óptica. São Paulo: Livraria da Física, 2012. 365 p.

PCNEM – **Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio**, Parte III. Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Ministério da Educação e Cultura. Brasília: 1998.

RAMALHO J. F.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. D. T. **Os fundamentos da física**. 10. ed. São Paulo: Moderna, v. 2, 2009.

RIBEIRO, L. R., MIZUKAMI, M.G.N., **A PBL na Universidade de Newcastle**: Um Modelo para o Ensino de Engenharia no Brasil? Olhar de Professor. Ano/vol 7, no 001, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Brasil, p133-146, 2004.

SEIDEL, S.; ARYEH, L. **Project-based and experiential learning in after- School Programming**. 2002.

SCHILLER, C. **Motion mountain**: the adventure of physics: fall, flow and heat. 30. ed. [s.l.]: Createspace Independent Publishing Platform, 2017. 130 p.

VERGNAUD, G. A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction problems. In Carpenter, T., Moser, J. & Romberg, T. **Addition and subtraction. A cognitive perspective**. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum. pp. 39-59. 1982.

VERGNAUD, G. **Quelques problèmes théoriques de la didactique a propos d'un exemple**: les structures additives. Atelier International d'Eté: Recherche en Didactique de la Physique. La Londe les Maures, França, 26 de junho a 13 de julho. 1983.

VERGNAUD, G. Psicologia do desenvolvimento cognitivo e didática das matemáticas. Um exemplo: as estruturas aditivas. **Análise Psicológica**, v.1, p.75-90, 1986.

VERGNAUD, G. La théorie de champs conceptuels. **Recherches en Didactique de Mathématiques**, 1990a, v.10, n.23, p.133-170.

VERGNAUD, G. et al. **Epistemology and psychology of mathematics education**. In: NESHER, P.; KILPATRICK, J. (Eds.) Mathematics and cognition: A research synthesis by International Group for the Psychology of Mathematics Education. Cambridge: Cambridge University Press, 1990b.

VERGNAUD, G. **Teoria dos campos conceituais**. In NASSER, L. (Ed.) Anais do 1º Seminário Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro. p. 1-26. 1993.

VERGNAUD, G. **Algunas ideas fundamentales de Piaget en torno a la didáctica. Perspectivas:** 195-207. 1996.

VERGNAUD, G. A comprehensive theory of representation for mathematics education. **Journal of Mathematical Behavior:** p.167-181. 1998.

VERGNAUD, G. A didática é uma provocação: ela é um desafio. In: GROSSI, E. P. (Org.). **Piaget e Vygotsky em Gérard Vergnaud:** teoria dos Campos Conceituais TCC. Coleção Campos Conceituais. Porto Alegre: GEEMPA. 2017

**APÊNDICE A — QUESTIONÁRIO DE OPINIÕES DURANTE A EXECUÇÃO DAS
ETAPAS DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA**

QUESTIONÁRIO DE OPINIÕES

Prezado estudante. Responda as questões abaixo de acordo com a sua opinião. Não é necessário identificar-se.

1. Quanto à abordagem para o conteúdo de acústica, o que tens a relatar sobre a tua experiência, ou seja, qual a tua opinião em relação à maneira como o trabalho foi realizado?

2. Sobre o método do trabalho, qual a tua opinião?

3. O que achaste do instrumento musical em si? Ajudou-te a compreender o assunto?

4. Sobre a apresentação musical com as crianças do Ensino Fundamental I, qual o teu parecer? Foi interessante?

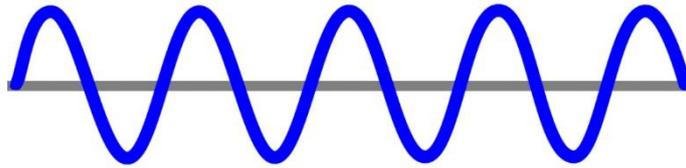
5. Sobre os questionários antes e após o projeto, o quão fácil ou difícil eram os testes antes e depois do projeto?

6. APÊNDICE B — QUESTÕES DE VERIFICAÇÃO

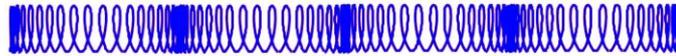
7. QUESTÕES DE VERIFICAÇÃO

Prezado estudante. Responda as atividades abaixo utilizando os conceitos trabalhados durante a sequência didática. Não é necessária a identificação.

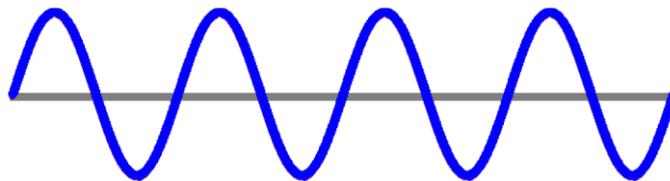
1. Determine o número de cristas e vales e o número de ondas exibidas no padrão de onda transversal mostrado abaixo.



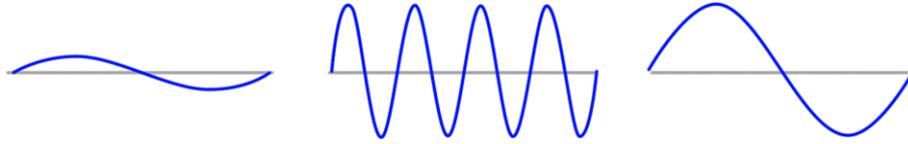
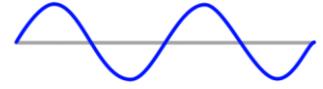
2. Identifique as compressões e as rarefações nos seguintes padrões de onda longitudinalis.



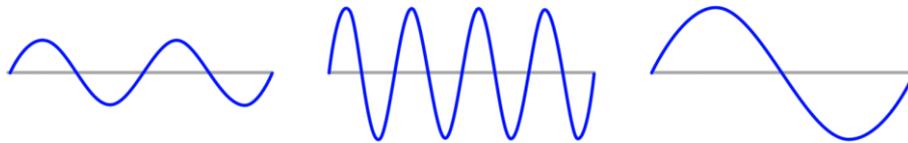
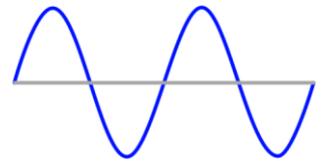
3. Uma corda está vibrando em alta frequência. O comprimento da corda é de 6,00 metros. Um instantâneo da corda em um dado momento também é mostrado. Use esta informação para determinar o comprimento da onda.



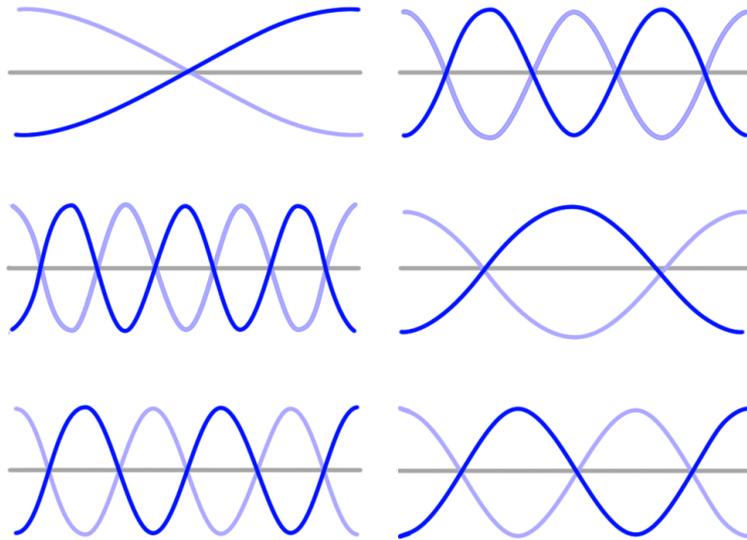
4. O diagrama à direita é um instantâneo no tempo de uma onda se movendo ao longo de uma corda. Qual diagrama abaixo representa uma onda se movendo através da mesma corda, mas tendo o dobro do comprimento de onda e metade da amplitude? Justifique.



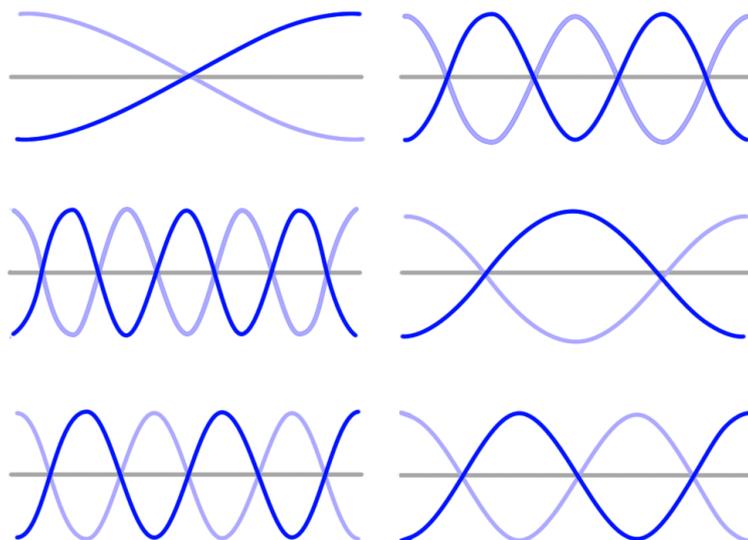
5. O diagrama à direita é um instantâneo no tempo de uma onda se movendo ao longo de uma corda. Qual diagrama abaixo representa uma onda vibrando com as duas vezes a frequência e se movendo através da mesma corda e, portanto, tendo a mesma velocidade? Justifique.



6. Identifique o padrão de onda estacionária para uma coluna de ar, em um tubo aberto, que esteja vibrando com um padrão de onda de primeiro, segundo e terceiro harmônicos, justificando a identificação com as características destes padrões.



7. Uma coluna de ar de extremidade aberta tem um comprimento de 60cm. Calcule e identifique o padrão de ondas estacionárias para o harmônico que tem um comprimento de onda de 24cm.



8. Uma batida produz ruído. Uma série de batidas pode constituir música?

9. A altura e o volume das vozes de duas pessoas podem ser iguais, mas facilmente conseguimos distinguir uma da outra. Por quê? Resposta esperada: a voz de cada pessoa possui uma mistura característica de tons. Cada pessoa tem seu próprio timbre.

10. A propagação do som acontece se não existe qualquer material (ar, água, partículas, etc.)? Como o som é capaz de chegar aos espectadores em diferentes pontos de uma sala?

APÊNDICE C — PRODUTO EDUCACIONAL



PRODUTO EDUCACIONAL

Implementação de Metodologias Ativas: Aprendizagem Baseada em Projetos em Aulas de Física Sobre Acústica no Ensino Médio a luz dos Campos Conceituais

Ramón Vieira Araujo

Prof. Dr. Ederson Staudt
Orientador

Prof. Dr. Karen Cavalcanti Tauceda
Coorientadora

Tramandaí - RS
Março 2019

APRESENTAÇÃO

Na sequência, será abordado o produto da dissertação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, da Sociedade Brasileira de Física, polo UFRGS em Tramandaí/RS, intitulada “Implementação de Metodologias Ativas: Aprendizagem Baseada em Projetos em Aulas de Física Sobre Acústica no Ensino Médio”.

O produto educacional proposto, tem como objetivo o ensino de tópicos da acústica por meio da utilização de metodologias de ensino ativas, em particular, atividades de ensino baseada na Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP). A metodologia ativa se constitui na elaboração da proposta de um instrumento musical de policloreto de vinila (PVC), que é então instrumento gerador de conceitos, ou seja, é a partir da explicação do funcionamento do mesmo que os conceitos necessários para a aprendizagem serão construídos. Numa estrutura de integração entre teoria-experimento-tecnologia (TET). Integração nesse contexto deve ser entendido como a impossibilidade de separação explicitamente delimitada entre estes três eixos, ou seja, o estabelecimento de qualquer um deles é realizado com amparo dos outros dois.

Neste cenário de integração TET, temos a presença do instrumento musical de PVC. Ele se caracteriza como parte experimental, dela orbitam os questionamentos sobre as concepções prévias a partir do qual as equações matemáticas, que descrevem as características das ondas sonoras, são exploradas e introduzidas. Em contrapartida, essas equações podem demandar ao experimento modificações para o teste das hipóteses, as tecnologias como, por exemplo, vídeos da plataforma do Youtube, simulações, *applets* ou mesmo aplicativos de celulares para a afinação do instrumento são utilizadas.

As atividades para a elaboração e aplicação da ABP, bem como as habilidades e competências exploradas pelo projeto, estão incluídas no texto do produto educacional. Os testes e as etapas do projeto aplicados em sala de aula baseiam-se na metodologia da ABP, proposta pelo Instituto BIE (Buck Institute for Education) e na teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud. Com comentários do autor deste trabalho, visando orientar o professor sobre as competências e habilidades, elaboradas pela base nacional comum curricular (BNCC) e norteadoras do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM).

O produto educacional foi desenvolvido com o intuito de propor um exemplo de sequência didática no ensino dos conceitos de tópicos de acústica, utilizando como metodologia a ABP, que possibilitasse a utilização de recursos digitais, diálogos e exploração prática de forma que fosse atrativa, envolvente e mais significativa aos estudantes, que permitisse a sua reprodução integral, parcial ou mesmo adaptada por professores de acordo com seus interesses e ou recursos.

A sequência foi estruturada em cinco etapas, de variadas durações, entre cem e cento e cinquenta minutos, com situações-problema teóricas e práticas, relacionadas aos fenômenos acústicos e sonoros do cotidiano. Sendo a primeira expositiva dialogada, buscando estabelecer os conhecimentos prévios dos estudantes e, com constante caráter provocativo, no sentido do estabelecimento de hipóteses que busquem uma abordagem explicativa, que vá gradualmente tornando-se adequada cientificamente; a segunda, convida o estudante à construção de novos conceitos, através de simulações e exercícios que demandam tanto o raciocínio quanto provocam a desconforto dos estudantes, preparando-os para a terceira etapa que é um convite à experimentação, à aplicação prática dos conceitos até então estudados; a quarta etapa fomenta a investigação dos conceitos através de explorações em ambientes virtuais, e a última é de aplicação prática em um contexto não escolar⁴.

⁴ A aplicação prática, no presente contexto, se deu em um festival de rock, elaborado pelos professores do ensino fundamental I. A participação dos estudantes se fez em um *pot-pourri* musical durante a apresentação final dos estudantes do fundamental I.

ETAPAS

Primeira etapa — Objetivos e atividades: investigação das concepções prévias

A primeira etapa corresponde ao empreendimento de esforços para uma formação mais geral; consiste na apresentação formal do projeto aos estudantes como sendo requisito para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Assim, inicia-se o diálogo mostrando aos estudantes as perspectivas que podem ser vislumbradas em uma carreira acadêmica/docente. A busca por atualização faz parte do ser professor e que essa busca gera frutos como o projeto que se pretende desenvolver com o intuito de promover um ensino diferenciado. Em seguida, pode-se proceder para a formação dos grupos de trabalho de construção do instrumento, tendo em vista que a manipulação dos materiais e ferramentas pode ser dificultada quando realizada individualmente.

A apresentação do projeto visa instigar a curiosidade nos estudantes sobre o conteúdo, além do levantamento inicial para a compreensão, por parte do professor, acerca dos conceitos prévios em relação ao tema da aula. Isso pode ser alcançado por meio de uma experiência desafiadora, onde o desafio consiste na necessidade de uma explicação de determinado fenômeno relacionado ao tema de interesse, por parte dos estudantes.

Para que os estudantes consigam avançar nesse processo de desenvolvimento da investigação científica, é necessário fazer uso dos mecanismos que normalmente estão diluídos no que se denomina, na literatura, de método científico. Nesse primeiro momento, é importante estimular a imaginação dos estudantes no que se refere à proposta de hipóteses, de operações logicamente consistentes em detrimento de uma esperada resposta correta. Ainda, nesse momento, é importante que o professor assuma a posição de mediador em promover as aprendizagens dos estudantes relacionadas aos conceitos de ondulatória, que permeiam não somente os fenômenos sonoros, mas também os ópticos e podem ser tão aprofundados a ponto de ressurgirem na física moderna, em especial na mecânica quântica.

Inicia-se com o levantamento dos conceitos prévios dos estudantes acerca do conteúdo que se pretende abordar ao longo da execução do projeto. Os estudantes

são convidados a responder um questionário, com o objetivo de realizar uma investigação dos seus conhecimentos prévios. O que possibilita situar a aula dentro daquilo que o estudante já sabe e preencher as lacunas que eventualmente se mostrem presentes. Nesse momento o professor exercita a competência número seis da BNCC, a saber:

...Valorizar a diversidade de saberes e vivências culturais e apropriar-se de conhecimentos e experiências que lhe possibilitem entender as relações próprias do mundo do trabalho e fazer escolhas alinhadas ao exercício da cidadania e ao seu projeto de vida, com liberdade, autonomia, consciência crítica e responsabilidade. (BNCC, p.9)

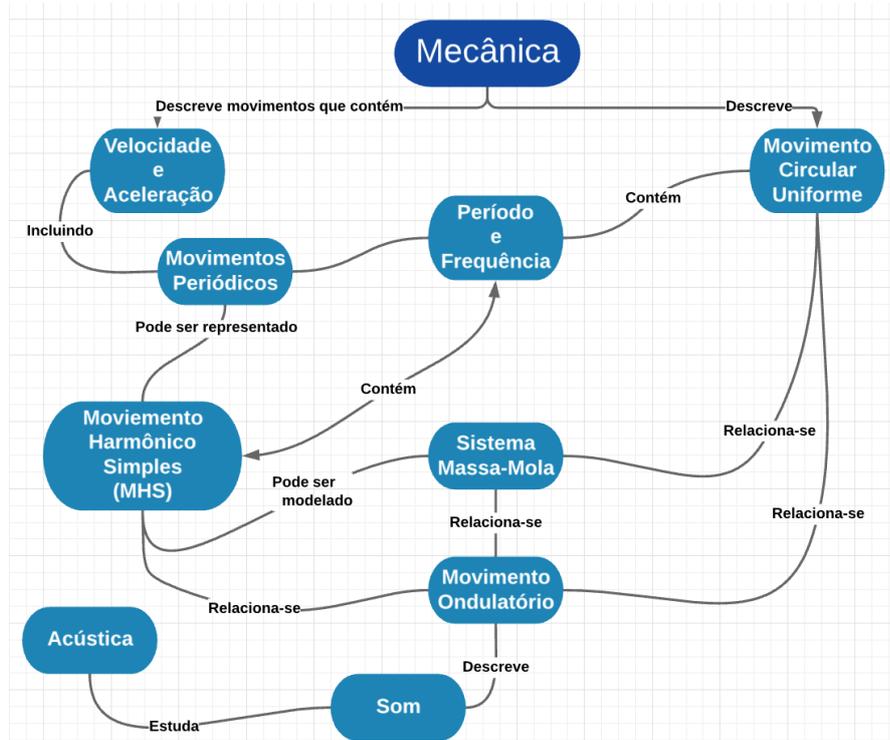
Porém, ao fazer esta atividade, é dever do professor intervir no sentido de possibilitar a ressignificação de saberes em termos de conceitos científicos, proporcionando vivências diferenciadas e uma gama maior de situações, onde o estudante pode confrontar e explorar seus saberes de forma a alinhar os mesmos ao conhecimento científico formal. Aqui sugere-se ao professor que elabore um questionário junto ao pacote Google Forms da plataforma Google. Os questionamentos sugeridos para o levantamento dos conhecimentos prévios dos estudantes são listados a seguir:

- a) Em quais situações do cotidiano podemos perceber a presença de uma onda?
- b) Para realizar uma palestra é preferível um ambiente fechado ou um ambiente aberto? Em qual dos dois ambientes o palestrante, sem o auxílio de qualquer outro aparelho, terá maior facilidade em ser escutado pela plateia, por quê?
- c) Ao escutar duas pessoas conhecidas, ou dois instrumentos musicais diferentes, o que nos permite diferenciar estes sons?
- d) Explicar como o som é produzido por um instrumento musical.
- e) Como o som é capaz de chegar aos espectadores em diferentes pontos de uma sala?
- f) Quais são as características de uma onda?
- g) Na ausência de qualquer material (ar, água, partículas, etc.), é possível se perceber o som?

Após a resposta do questionário, é interessante situar, no objeto de estudo, o estudante com um mapa mental construído em conjunto, sempre de maneira

dialogada. Indica-se para a elaboração deste mapa mental a plataforma Lucidchart⁵. A Figura 1 traz o mapa mental elaborado junto dos estudantes para a organização do conteúdo.

Figura 5 - MAPA MENTAL DOS TÓPICOS DE FÍSICA RELACIONADOS



Fonte: Adaptado da plataforma Lucidchart. Produção do autor em conjunto com os estudantes

A experiência desafiadora pode então ser suplementada com a visualização do vídeo *Can you hear this?*⁶ É importante mencionar que o vídeo original está na língua inglesa, o que não pode ser entendido como um complicador. Em virtude da grande quantidade de materiais disponíveis em língua inglesa, com potencialidades de servirem de amparo para os estudos fora da sala de aula, é preciso incentivar os estudantes à prática nessa língua, até mesmo porque em seus componentes curriculares figura a língua inglesa (ainda, a própria plataforma do Youtube permite a opção de legendas ativas). Sob este aspecto a presente proposta abre a possibilidade de poder servir como um elo entre as disciplinas de física e inglês com um projeto em paralelo.

⁵ <https://www.lucidchart.com>

⁶ https://www.youtube.com/watch?v=7_SXyQRWYZ0

Esse momento convém como situação problematizadora, com o propósito de servir de tema gerador de conceitos, ou seja, é a situação que agora vai requerer um conjunto de conceitos para que o fenômeno possa ser explicado. Após essa apresentação, torna-se relevante a abertura ao diálogo, proporcionando um momento entre os estudantes e o professor, onde é fomentada a curiosidade e o senso de exploração que o projeto demandará. Nesse momento, alguns dos sites citados no vídeo podem ser acessados, permitindo sempre uma nova rodada de diálogos e indagações, sem fugir da pergunta norteadora: “Qual a relação entre a física e a música e como podemos mostrar esta relação?”⁷.

Situações-problema para investigação das concepções prévias:

- O que uma boia oceânica, uma criança em um balanço, o cone dentro de um alto-falante, um violão, átomos em um cristal, o movimento das cavidades torácicas e a batida dos corações têm em comum?
- Como podemos reconhecer as características de um movimento oscilatório?
- Como podemos representar um som? Explique sua resposta. (Esta pergunta, em especial, abre espaço para que o professor já instigue os estudantes ao pensamento da representação gráfica do som, tanto em notas musicais como em gráficos da ondulatória, bem como na representação matemática do som).

Em seguida ao momento de discussão e diálogo foi pensado mais um momento de exploração na plataforma do Youtube, sendo esta norteadora pela competência geral número dois da Base Nacional Comum Curricular, que visa:

...Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das diferentes áreas. (BNCC, p.9)

O objetivo é o de fomentar a investigação, a elaboração de modelos explicativos, os testes de hipóteses e criação de soluções para os problemas encontrados.

⁷ É importante que no momento da aplicação da primeira etapa o professor abra um espaço para o diálogo com os estudantes, permitindo que as questões e as preconcepções comecem a aflorar, possibilitando ao professor fazer o convite à construção do instrumento musical e à investigação desses conceitos.

Primeiramente, os estudantes são estimulados a explorarem no canal de Youtube exemplos que sirvam de inspiração para a estruturação do instrumento que se pretende construir de maneira simplificada, porém, explorando os mesmos conceitos de acústica. Isso pode ser visto em:

- <https://www.youtube.com/user/snubbyj>

Estas atividades devem ser pensadas com o objetivo de conduzir o estudante pelo fértil campo da curiosidade, e assim promover a discussão entre os estudantes e o professor acerca das possibilidades dos materiais e dos esforços que serão necessários empregar para a execução do projeto.

Segunda etapa — Objetivos e atividades: construindo novos conceitos

É oportuno que o professor comece a segunda etapa com provocações aos estudantes, utilizando o material que servirá para a construção do instrumento para a produção de qualquer tipo de som (ou, de preferência, qualquer material que esteja na sala). O professor pode novamente utilizar perguntas para criar situações-problema para promover a discussão:

- O que faz uma onda ser uma onda?
- Quais as características ou comportamentos que podemos perceber em fenômenos que tipicamente caracterizamos como sendo uma onda?
- Como as ondas podem ser descritas de uma maneira que nos permita entender sua natureza e qualidades básicas?
- Qual a diferença entre música e barulho?

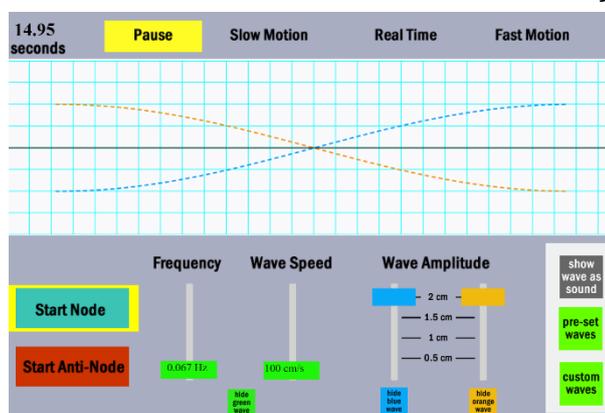
Estes questionamentos devem fomentar o diálogo e, auxiliados por explorações, como por exemplo, utilizar um dos batedores de espuma para produzir ruídos em um dos tubos de pvc, bater um tubo contra outro e produzir ruídos com diferentes materiais na sala de aula. Lembrando que desejamos sempre remeter a pergunta norteadora e pretendemos provocar situações em que os termos “notas musicais”, “afinação”, “tom” e etc. sejam evocados pelos estudantes em suas argumentações ou que permita que o professor os conduza para tal. É nesse debate de ideias que o professor pode introduzir o questionamento sobre como seria possível, utilizando a física, encontrar um tamanho tal que os tubos passem a produzir sons que estejam dentro da escala das notas musicais.

Passa-se então a fazer a exposição dos conceitos (de um modo formal e em um momento expositivo dialogado), e da equação necessária para a obtenção do comprimento (ℓ) de um tubo aberto, em função do harmônico fundamental, fomentando, sempre que possível, o diálogo e a busca por uma argumentação baseada em dados confiáveis por parte dos estudantes.

É interessante, ao estudante, a visualização dos padrões que se formam quando produzimos algum tipo de som ou tocamos um instrumento musical. Para isso

o professor pode fazer uso de *applets* de física, em especial, o *Standing Wave Maker Interactive*⁸, onde se pode explorar alguns conceitos.

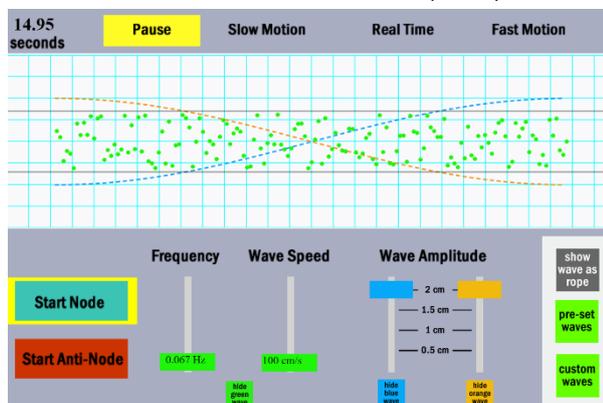
FIGURA 6 - CAPTURA DE TELA DO APPLET DE SIMULAÇÃO (2018)



Fonte: Captura de tela do *applet*

Nesse contexto ainda é possível evidenciar aos estudantes o comportamento ondulatório do som como onda, ou ainda como as partículas oscilantes de um meio.

FIGURA 7: CAPTURA DE TELA DO APPLET DE SIMULAÇÃO COM A INCLUSÃO DO SOM COMO MOVIMENTO OSCILATÓRIO DAS PARTÍCULAS DO MEIO (2018)



Fonte: Captura de tela do *applet*

Sugerimos ao professor que, se possível, projete este *applet* para que seja possível fazer anotações sobre a imagem.

Quanto ao comprimento de onda (λ) o professor pode argumentar que o comprimento é simplesmente o comprimento de um ciclo de onda completo. Pode o

⁸ Disponível em: <<https://www.physicsclassroom.com/Physics-Interactives/Waves-and-Sound/Standing-Wave-Patterns/Standing-Wave-Patterns-Interactive>>

professor utilizar a tecnologia dos arquivos “.gif ”(imagem animada), para fazer de forma visual esta relação conforme pode ser visto na Figura 3⁹.

Figura 3 — GIF RELACIONANDO O MCU COM O MOVIMENTO OSCILATÓRIO



Fonte: Disponível em <<http://gph.is/2C0V3QH>>

Ao convidar os alunos a cronometrarem o tempo que leva para que se complete um ciclo, o professor pode introduzir a discussão sobre período (T), bem como a sua relação com a frequência do movimento oscilatório (f). Onde pode-se relacionar o tempo necessário para que a partícula complete um ciclo como sendo o período (T) (onde a unidade é o segundo). E a frequência (f) da onda que descreve o número de ciclos completos que são concluídos durante um determinado período de tempo.

Cabe também ao professor argumentar que a frequência é uma taxa que descreve a quantidade de oscilações, vibrações, ciclos ou ondas em uma base por unidade de tempo (segundos). Tal taxa é referida no sistema internacional de unidades como Hertz, abreviado como Hz. Um Hertz indica o número de ciclos completos por segundo, dessa forma podemos matematizar estas relações através da seguinte equação:

$$f = \frac{1}{T} \quad (1)$$

Ao sabermos a frequência é possível calcular o período de uma onda e vice versa.

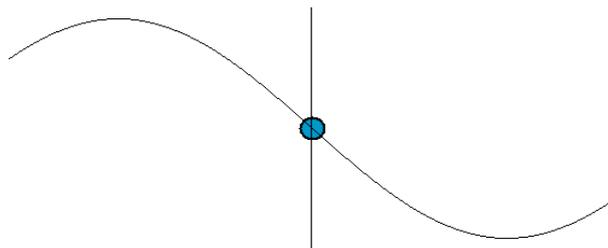
É importante atentar para o fato de que existe um equívoco comum ao abordarmos o estudo da ondulatória que é o de que o movimento ondulatório “empurra” as partículas do meio para frente. A argumentação baseia-se no fato da sensação de sermos empurrados quando estamos no mar e somos atingidos por uma

⁹ A versão animada da Figura 3 pode ser encontrada no endereço <https://gph.is/2C0V3QH>

onda. Nesse momento é oportuno que o professor chame a atenção para o fato de que na realidade, apenas a energia é transportada de um ponto ao outro. Que o que sentimos quando somos atingidos por uma onda no mar é a energia dessa onda.

Novamente a utilização de um arquivo “.gif” pode auxiliar a compreensão desse conceito, como podemos ver na Figura 5¹⁰

FIGURA 5 — GIF REPRESENTANDO O MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES.



Fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/74/Simple_harmonic_motion_animation.gif>
Acesso: 15/05/2018

Com a utilização desses recursos e, oportunizando o diálogo entre os estudantes, o professor pode abordar o conceito de velocidade de propagação de onda, explicitando aos estudantes que a velocidade de propagação de onda é definida pela distância percorrida por uma crista de onda por unidade de tempo. A equação básica que nos remete essa relação é dada por:

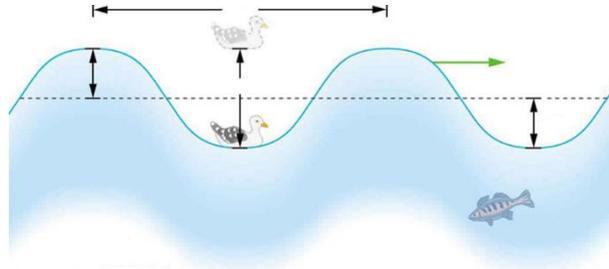
$$v = \frac{d}{t} \quad (2)$$

Ao explicitar esta equação é interessante que o professor passe a esmiuçar a anatomia de uma onda, para isso, a projeção da Figura 6 abaixo, pode auxiliar nesse momento trazendo o diálogo e as argumentações dos estudantes ao foco da resolução da situação, questionando os estudantes sobre as partes que necessitam receber algum tipo de identificação para que possamos estabelecer uma relação entre

¹⁰ A versão animada da Figura 4 pode ser encontrada no endereço
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/74/Simple_harmonic_motion_animation.gif

a equação que acabamos de rever e a equação da velocidade de propagação de uma onda.

FIGURA 6 — EXERCÍCIO PARA IDENTIFICAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE UMA ONDA.



Disponível em:

<[https://phys.libretexts.org/Bookshelves/College_Physics/Book%3A_College_Physics_\(OpenStax\)/16%3A_Oscillatory_Motion_and_Waves/16.09%3A_Waves](https://phys.libretexts.org/Bookshelves/College_Physics/Book%3A_College_Physics_(OpenStax)/16%3A_Oscillatory_Motion_and_Waves/16.09%3A_Waves)> Editada.

O professor deve conduzir os estudantes a relações entre a distância (d) e o comprimento de onda (λ), bem como o tempo (t) e o período (T) resultando nas equações:

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad (3)$$

A equação 2 pode ser reescrita como:

$$v = \lambda f \quad (4)$$

Neste contexto, a discussão, sobre como relacionar o comprimento de onda com o comprimento de um tubo, pode ser feita atentando-se ao fato de que a onda é tida como estacionária por aspectos como:

...Quando duas ondas com mesma amplitude e mesmo comprimento de onda passam uma pela outra em sentidos opostos, elas estão constante e alternadamente em fase e fora de fase. Isso ocorre com uma onda refletida sobre si mesma. Em tal situação, são produzidas regiões estáveis de interferência construtiva e destrutiva. Hewitt (2015, p.364)

Podemos atenuar a complexidade desta fala fazendo referência ao fato de que chamamos estas ondas de estacionárias pois “não consegue-se distinguir a onda progressiva da onda retrógrada” Peruzzo (2012, p. 184), ou ainda podemos destacar

que existem pontos ao longo do meio de propagação onde aparentemente não há movimentação como visto na Figura 5.

Novamente o professor pode utilizar o recurso do *applet*. Propondo a seguinte situação de exercício:

1. Complete a tabela abaixo com os próximos harmônicos e as suas relações matemáticas.

Número do harmônico	Número de ondas no tubo	Número de nós	Número de antinós	Relação Comprimento de onda - Comprimento
1º	0,5 ou $\frac{1}{2}$	1	2	$\lambda = \frac{2}{1}L$
2º	1,0 ou $\frac{2}{2}$	2	3	$\lambda = \frac{2}{2}L$
3º				
4º				
5º				

Ao responderem o exercício acima, os estudantes começam a relacionar os conceitos abordados até então e a matemática necessária para que se prossiga com a investigação da equação para o cálculo do comprimento do tubo aberto, no mais ideal dos casos, que é dada pela equação 4, onde λ_1 é o comprimento de onda do primeiro harmônico.

$$\ell = \frac{\lambda_1}{2} \quad (5)$$

Após esta discussão e explicação, os estudantes são convidados a assistir um vídeo onde fica evidenciado de forma mais clara e prática as relações dos movimentos ondulatórios com o som, por exemplo, em um violão, como em:

- <https://www.youtube.com/watch?v=5ZXIfF-zls8>¹¹

Nesse momento cabe sugerir aos estudantes dois exercícios que relacionam os conceitos abordados até então:

Dada a velocidade de propagação do som no ar como sendo de aproximadamente 340 m/s. Determine a frequência fundamental (1º harmônico), em um tubo de extremidades abertas cujo comprimento é de 67,5 cm.

Determine o comprimento de um tubo aberto necessário para produzir a frequência fundamental a partir da frequência fundamental de 480 Hz. Utilize 340 m/s como sendo o valor da velocidade do som no ar.

Estimule os estudantes a solucionarem os problemas através das equações já discutidas

¹¹ O acesso ao link foi feito em 14/04/2018.

Terceira etapa — Objetivos e atividades: aplicando conceitos

Realizamos a montagem dos instrumentos em dois momentos. Inicialmente, os estudantes necessitam da escala das frequências das notas musicais, conforme a Tabela 1:

TABELA 1 — RELAÇÃO ENTRE NOTAS MUSICAIS DA ESCALA CROMÁTICA E FREQUÊNCIA

Notas	Frequência (Hz)
Dó	261.63
Dó#	277.18
Ré	293.66
Ré#	311.13
Mi	329.63
Fá	349.23
Fá#	369.99
Sol	392.00
Sol#	415.30
Lá	440.00
Lá#	466.00
Si	493.88
Dó	523.25

Fonte: <http://www2.eca.usp.br/prof/iazzetta/tutor/acustica/introducao/tabela1.html>.

Com esta escala da Tabela 1, projetada no quadro da sala de aula, pode-se utilizar como problema desafiador, quando os estudantes são questionados quanto à possibilidade do cálculo do comprimento dos tubos sonoros. Neste sentido, o professor pode dispor de tubos de comprimento aleatório e nestes novamente produzir som. O comprimento deve ser escolhido de modo a não conseguir estabelecer sonoridade agradável. Isso servirá de motivador para se possuir um processo mais adequado e que possa ser mais facilmente reproduzido. Este é o apelo para introduzir a formulação em termos de equações matemáticas.

Tal necessidade exige a construção/apresentação através das equações que relacionam a velocidade (v) do som em função do comprimento (λ) de onda e da frequência de onda (f).

$$v = \lambda f \quad (6)$$

É importante que os estudantes estejam familiarizados com a equação para o cálculo da velocidade do som, no ar, em função da temperatura (T) do ambiente. Dado que a velocidade do som no ar a 0°C é $331,4 \text{ ms}^{-1}$, aumentando a medida que a temperatura também aumenta. Quando a temperatura ambiente é de $T^\circ\text{C}$, a velocidade correspondente do som no ar é:

$$v(T) = 331,4 + 0,607T \quad (7)$$

Apropriados desta equação, os alunos podem calcular a velocidade do som durante a fase da construção do instrumento. É fundamental que, após a aferição da temperatura e com o cálculo realizado, não se introduzam variações da velocidade em função da temperatura, visando dessa forma minimizar possíveis equívocos.

Ou seja, um problema prático está solicitando a definição de conceitos e a sua relação matemática. Este também é o cenário adequado para considerar questões relativas ao desenvolvimento da mecânica quântica, isto é, a manifestação de características ondulatórias por objetos classificados como partículas.

O próximo passo é estabelecer alguma equação que relacione o comprimento do tubo aberto em função do comprimento de onda do primeiro harmônico, esta pode ser dada por:

$$\ell = \frac{\lambda_1}{2} \quad (8)$$

que permite reescrever a equação em função de λ_1 :

$$\lambda_1 = 2\ell \quad (8.1)$$

e, com isso, substituindo a equação 8.1 na equação 6,

$$v = 2\ell f \quad (7)$$

Reescrevendo em função da do comprimento ℓ :

$$\ell = \frac{v}{2f} \quad (7.1)$$

Utilizando a frequência da Tabela 1 e a equação 7.1, os estudantes estavam com os elementos necessários para a construção da Tabela 2, com as medidas dos tubos abertos relativas a cada nota da escala cromática.

TABELA 2 — RELAÇÃO ENTRE AS NOTAS MUSICAIS DA ESCALA CROMÁTICA E OS COMPRIMENTOS DOS TUBOS ABERTOS, CALCULADOS PELOS ESTUDANTES PARA UMA TEMPERATURA DE 18°C

Notas	Comprimento do tubo (cm)
Dó	65,55
Dó#	61,87
Ré	58,40
Ré#	55,12
Mi	52,03
Fá	49,11
Fá#	46,47
Sol	43,75
Sol#	41,30
Lá	38,98
Lá#	36,80
Si	34,73
Dó	32,78

Fonte: Anotações do autor em sala de aula

Nesta etapa inicial de montagem do instrumento, os estudantes fazem a parte teórica e recebem os materiais para a construção do instrumento e das “baquetas” que possibilitam que o instrumento seja tocado.

Montagem do instrumento musical

Para iniciar o processo de fabricação dos instrumentos, é necessário que o professor disponibilize os seguintes materiais aos estudantes:

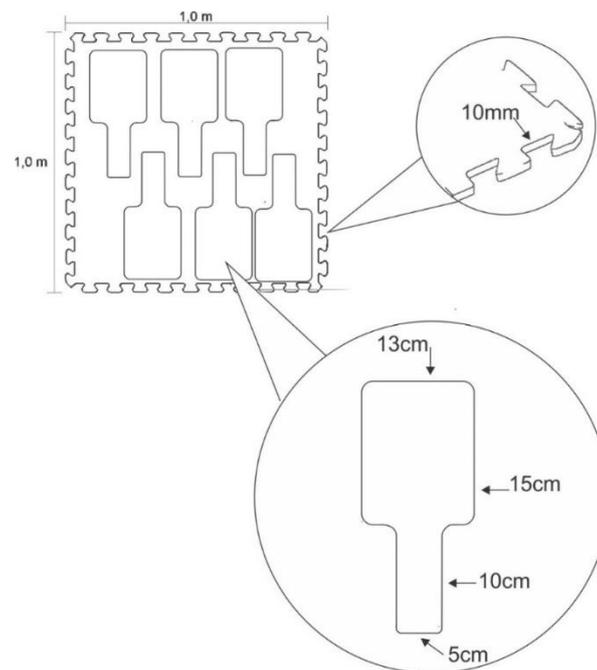
- Serra para cortar canos de pvc
- Lixa para desbaste e acabamento
- Trena
- Canetas
- Furadeira com as brocas necessárias
- Serra copo para madeira
- Parafusos
- Chaves de fenda e *philips*
- Canos de pvc
- Luvas de pvc para acabamento dos canos
- Cola para conexões de pvc
- Tatame de espuma vinílica acetinada (EVA) 1,0 m x 1,0 m x 10 mm
- Estilete
- Madeira para a estrutura do instrumento

Neste processo, é preciso alertar a necessidade de uma organização bastante grande dos estudantes. Isso se deve, em particular, ao fato de estarem presentes objetos perfurocortantes que podem causar acidentes.

Os estudantes são convidados a organizar os grupos e dar início aos cálculos dos comprimentos dos tubos e em seguida realizar o corte, deixando margem para que seja possível realizar a afinação dos tubos prontos. Paralelamente, devem realizar o corte dos batedores (baquetas de EVA), utilizando as ferramentas disponíveis.

A Figura 10 traz o diagrama esquemático das baquetas de EVA. Uma placa nas dimensões especificadas resulta em até seis baquetas.

FIGURA 10 — ESQUEMA PARA MARCAÇÃO E CORTE DOS BATEDORES DE ESPUMA EVA.



Fonte: O autor (2018)

Lembre-se: o corte da espuma de EVA para a fabricação dos bateres deve ser feito com o estilete e com a supervisão do professor, procurando sempre priorizar a segurança dos estudantes.

No segundo momento de montagem do instrumento, os estudantes são convidados a então montar o corpo do instrumento. Utilizando peças de *medium-density fiberboard* (MDF), cortadas nas dimensões:

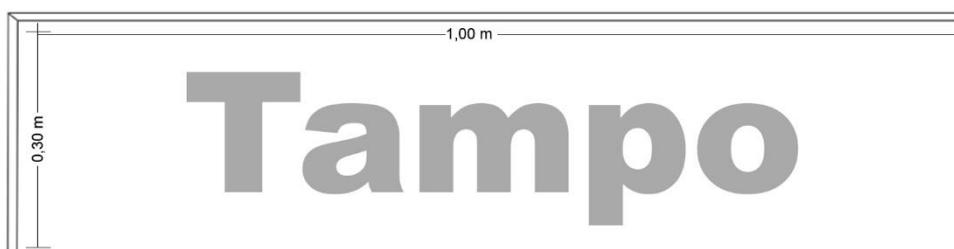
- Uma peça de 1 m x 0,40 m, para a parte central do corpo do instrumento.
- Duas peças de 1 m x 0,20 m, para as pernas do instrumento.
- Quatro peças de 0,50 m x 0,10 m, para os pés do instrumento.

Uma possibilidade é a de que o professor forneça, aos estudantes, as peças já cortadas, cabendo aos mesmos apenas a furação e montagem final do instrumento. Conectando as partes e fazendo os encaixes finais dos tubos com as respectivas luvas de encaixe.

Esquema de montagem

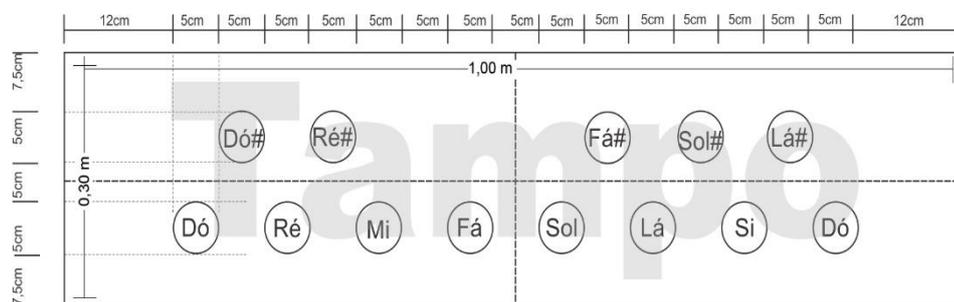
Com vistas a correta montagem apresentamos, na sequência, um conjunto de figuras para auxiliar na identificação e organização do processo. É importante frisar de que a montagem foi pensada de modo a ser simples para que o instrumento pudesse ser transportado para distintos espaços.

FIGURA 11 — TAMPO DO INSTRUMENTO MUSICAL 1,00 M X 0,30 M



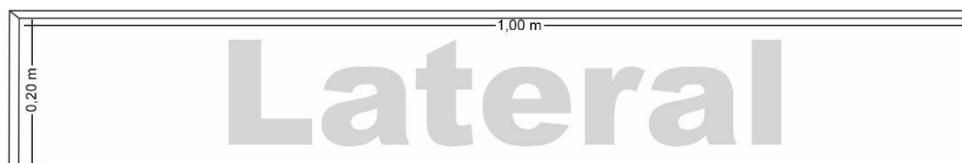
Fonte: O autor (2018)

FIGURA 12 — TAMPO DO INSTRUMENTO MUSICAL COM AS MARCAÇÕES PARA FURAÇÃO



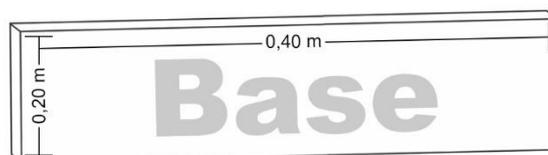
Fonte: O autor (2018)

FIGURA 13 — LATERAL DO INSTRUMENTO MUSICAL 1,00 M X 0,20 M



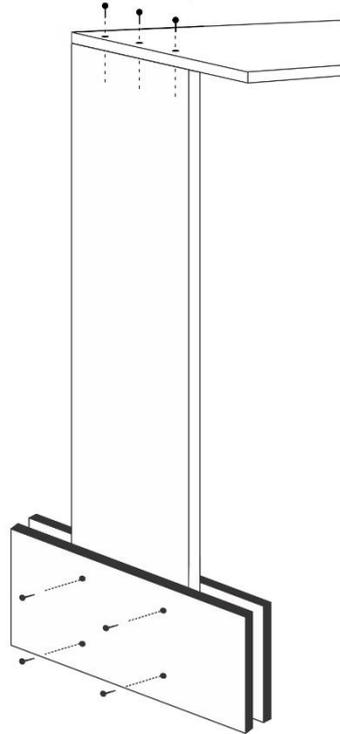
Fonte: O autor (2018)

FIGURA 14 — BASE DO INSTRUMENTO MUSICAL 0,40 M X 0,20 M



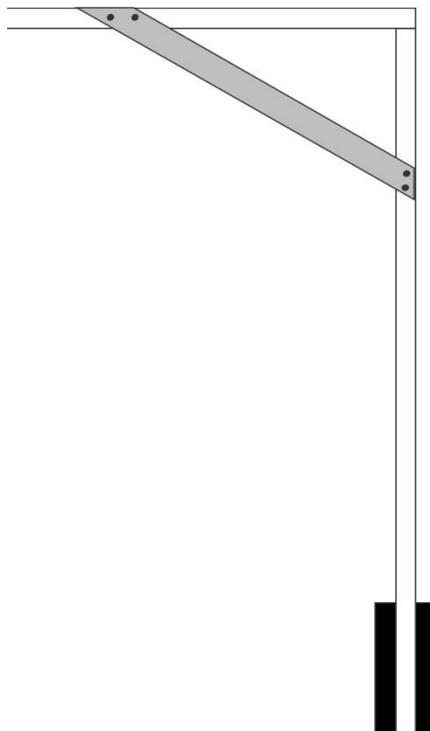
Fonte: O autor (2018)

FIGURA 15 — ESQUEMA DE MONTAGEM DO INSTRUMENTO MUSICAL



Fonte: O autor (2018)

FIGURA 16 — ESQUEMA DE MONTAGEM DAS TRAVAS DA MESA



Fonte: O autor (2018)

Processo de corte e afinação dos tubos

O processo de corte dos tubos deve ser realizado utilizando a serra para cortar canos de pvc. Os estudantes devem realizar as medidas com os resultados das equações por eles desenvolvidas.

A afinação do instrumento se dá com o aplicativo Afinador - DaTuner¹², disponível para celulares com o sistema operacional Android.

...O visor do DaTuner é fácil de interpretar: a nota e a oitava mais próximas são exibidas em uma fonte gigante e fácil de ler no centro da tela e a frequência em hertz com os erros são exibidas na parte inferior da tela. A sensibilidade é ajustada automaticamente, mas também pode ser feita por toque através de uma barra no lado esquerdo da tela. (PROMETHEUS INTERACTIVE LLC, 2018)

Nesse momento é importante que o professor inclua uma explicação sobre as notações que os estudantes irão encontrar no afinador. Lembrando que:

C = Dó - D = Ré - E = Mi - F = Fá - G = Sol - A = Lá - B = Si.

Também é importante lembrar que o objetivo, nesta construção, é de se estabelecer a nota correta. Sem demandar atenção quanto à oitava da nota.

FIGURA 17 — CAPTURA DE TELA DO APLICATIVO DATUNER (2018)



Fonte: Captura de tela do aplicativo (2018)

¹² <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.bork.dsp.datuna> Acesso em 14/05/2018

Quarta etapa — WebQuest¹³

Na quarta etapa, o objetivo é promover uma investigação que estabeleça relações entre as situações-problemas das etapas anteriores e da etapa de construção do instrumento, com os conceitos que estão sendo abordados até então.

Dado o caráter investigativo dessa atividade, cabe ao estudante utilizar os recursos disponíveis para elucidar as tarefas pensadas pelo professor. A utilização da *WebQuest* visa a autonomia do estudante quanto ao ritmo da pesquisa e da elucidação das situações propostas.

Nesta atividade o professor fornece aos estudantes uma lista de tarefas e atividades práticas, bem como sites e recursos cujos conteúdos (selecionados previamente pelo professor) devem ser explorados com o propósito de solucionar, através da investigação e da pesquisa, tais situações. Nesta WebQuest, os estudantes devem realizar as seguintes tarefas:

- Fazer um levantamento de informações pertinentes ao estudo da acústica;
- Identificar as características do som;
- Argumentar sobre os fenômenos acústicos e diferenciá-los;
- Definir ondas estacionárias;
- Relacionar as características de ondas estacionárias em cordas e tubos;

Os recursos disponibilizados para esta prática das duas atividades foram, previamente visitados e selecionados, visando a elaboração das atividades que devem ser desenvolvidas e das informações que devem ser extraídas destes recursos. Sendo eles vídeos, páginas web e um arquivo em formato pdf, (Portable Document Format), que estão apresentados no Quadro (1), a seguir:

¹³ A ferramenta *WebQuest* foi desenvolvida em 1995 pelo professor Bernie Dodge, da Universidade Estadual de San Diego nos Estados Unidos. Segundo o autor “o objetivo dos professores não é a transmissão, é a transformação, e o papel deles é reunir fontes de conhecimento para os alunos e ajudá-los a usá-las”. (DODGE, 1995, p. 1). Esta premissa se alinha à ABP, bem como as competências pensadas pela BNCC.

Quadro 1 — RECURSOS DISPONIBILIZADOS PARA AS PRÁTICAS DA WEBQUEST

TIPO DE RECURSO	ENDEREÇO	DESCRIÇÃO
Vídeos	https://www.youtube.com/watch?v=-puwHRsnqZo	Uma breve explicação sobre o eco com os personagens do programa “Show da Luna” do canal Discovery Kids™
	https://www.youtube.com/watch?v=iWECy1cbPXY	Uma breve explicação sobre o funcionamento de uma flauta com os personagens do programa “Show da Luna” do canal Discovery Kids™
	https://www.youtube.com/watch?v=km_ytPOISkM	Aula de física do canal Brasil Escola onde são abordados os elementos de uma onda.
Páginas WEB	http://salfordacoustics.co.uk/sound-waves	Página da Universidade de Salford - Manchester UK - que aborda a ciência do som.
	http://www.fisica.net/ondulatoria/	Física Net, portal com textos didáticos sobre tópicos de Física.
	https://www.infoescola.com/fisica/acustica/	Portal Info Escola texto sobre Acústica.
	https://brasilecola.uol.com.br/fisica/acustica.htm	Portal Brasil Escola texto sobre Acústica:
	https://guiadoestudante.abril.com.br/estudo/resumo-de-fisica-ondulatoria/	Portal Guia do estudante, com resumos de tópicos de Física.
PDF	http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol4/Num1/a10.pdf	Texto publicado na revista Física na Escola, uma revista com enfoque na sala de aula, no que se refere ao ensino e divulgação com o objetivo de melhorar a qualidade do ensino

Fonte: O autor (2018)

Primeira atividade

Na visita intencionalmente guiada na internet sugerimos o acesso aos *links*:

- <http://salfordacoustics.co.uk/sound-waves/waves-transverse-introduction>
- <http://salfordacoustics.co.uk/sound-waves/waves-transverse-introduction/longitudinal-waves>

Estes Inks foram disponibilizados com o objetivo de ser uma fonte de consulta em assuntos de acústica. Após essa visita solicitamos que os estudantes respondessem as seguintes situações:

1. Dê dois exemplos de ondas longitudinais.
2. Para obter uma onda longitudinal no brinquedo de mola *Slinky*, o que deve ser feito?
3. Baseado na animação mostrada no artigo disponível no segundo *link*, desenhe um esboço que explique o que acontece com as partículas que compõem o meio em uma onda longitudinal. Inclua setas que mostrem a direção do movimento das partículas e do movimento da onda.

Segunda atividade:

Na segunda atividade da WebQuest sugerimos o *link*:

- <https://pudding.cool/2018/02/waveforms/>

Que apresenta um guia interativo para explorar o conceito de ondas. Em seguida solicitamos para que os estudantes construíssem um parágrafo que sintetize as informações contidas na página web, respondendo as questões abaixo:

- a) Como ler um gráfico sobre ondas?
- b) O que é e como percebemos a amplitude?
- c) Qual a relação entre a frequência e o tempo no gráfico de uma onda?
- d) Como funciona o som? Faça um esquema/esboço que exemplifique o funcionamento.

Neste momento, a técnica alinha-se às competências de número quatro:

... Utilizar diferentes linguagens – verbal (oral ou visual-motora, como Libras, e escrita), corporal, visual, sonora e digital –, bem como conhecimentos das linguagens artística, matemática e científica, para se expressar e partilhar informações, experiências, ideias e sentimentos em diferentes contextos e produzir sentidos que levem ao entendimento mútuo. (BNCC, p.9)

de número cinco:

...Compreender, utilizar e criar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais (incluindo as escolares) para se comunicar, acessar e

disseminar informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva. (BNCC, p.9)

e de número seis que já explicitamos na página 6 do presente produto.

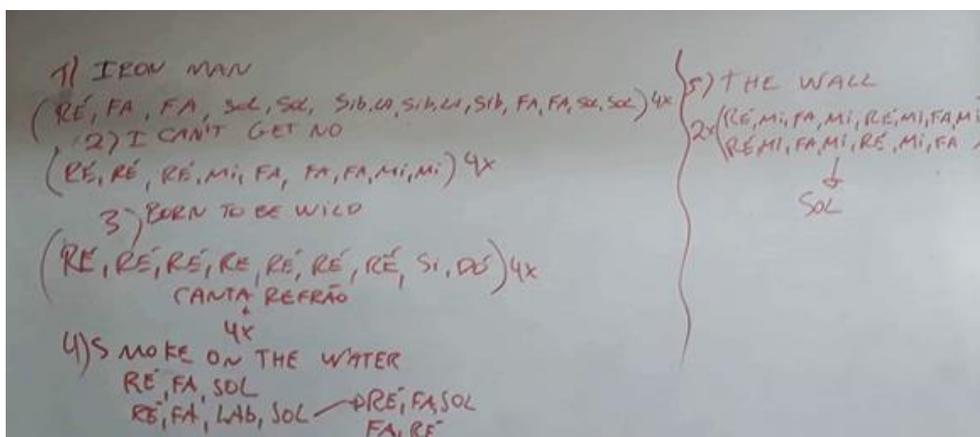
Ao estimular a comunicação, a argumentação e a cultura digital, utilizando, em conjunto, as habilidades linguísticas, a argumentação com base em dados e fontes de informação confiáveis, utilizando tecnologias digitais e a informação de forma crítica e significativa, conseguiremos alcançar as referidas competências.

Quinta etapa — Ensaio

Na quinta etapa, com o objetivo de trabalhar o ensino escolar de forma integrada. Permitindo o diálogo entre diferentes áreas do conhecimento, neste caso Física e Música, e promovendo enfoques diferentes sobre o assunto abordado foi convidado a participar do produto o professor de Música do Ensino Fundamental I da Instituição.

Com os instrumentos já montados os estudantes são convidados a iniciarem os ensaios de algumas músicas. Na presente proposta o ensaio era composto de cinco músicas que foram apresentadas durante um festival de rock; organizado pelo professor de música do colégio, com os estudantes do ensino fundamental I e II. Esta etapa foi conduzida pelo professor de música, com total autonomia para envolver os estudantes no ensaio e na proposta deste “*pot-pourri*” de rock. A foto abaixo representa as pautas musicais das canções que foram ensaiadas pelos alunos.

FIGURA 18 PAUTAS MUSICAIS DAS CANÇÕES ENSAIADAS



Fonte: O autor (2018)

Desta forma as canções escolhidas pelo professor de música são: *Iron man* (Black Sabbath), *(I Can't Get No) Satisfaction* - The Rolling Stones, *Born to be wild* (Steppenwolf), *Smoke on the water* (Deep Purple) e *Another brick n the wall* (Pink Floyd).

A organização do evento não é parte da sequência didática deste produto, porém serve como um fechamento do trabalho realizado pelos estudantes do ensino médio, estreitando os laços entre a comunidade escolar e promovendo as competências de número nove e dez da BNCC, que afirmam ser fundamental:

Exercitar a empatia, o diálogo, a resolução de conflitos e a cooperação, fazendo-se respeitar e promovendo o respeito ao outro e aos direitos humanos, com acolhimento e valorização da diversidade de indivíduos e de grupos sociais, seus saberes, identidades, culturas e potencialidades, sem preconceitos de qualquer natureza. (BNCC, p.9)

E completa:

Agir pessoal e coletivamente com autonomia, responsabilidade, flexibilidade, resiliência e determinação, tomando decisões com base em princípios éticos, democráticos, inclusivos, sustentáveis e solidários. (BNCC, p.9)

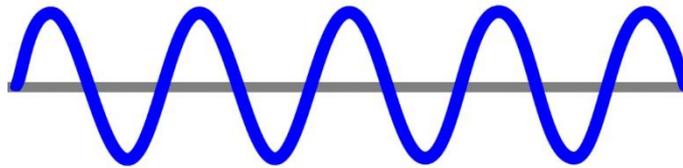
Deste modo, esta etapa recebe atenção por proporcionar ao professor que visa aplicar esta sequência, uma opção para o encerramento do trabalho bem como dos instrumentos construídos pelos estudantes. Estando presente neste produto educacional como uma sugestão.

Sexta etapa — Questionário de verificação

A sexta etapa procura estimar o aprendizado dos estudantes (em comparação ao questionário aplicado na primeira etapa), no que tange o assunto estudado. A duração desta aula foi de cinquenta minutos. Este tempo foi utilizado pelos estudantes para responderem as questões abaixo:

Prezado estudante. Responda as atividades abaixo utilizando os conceitos trabalhados durante a sequência didática.

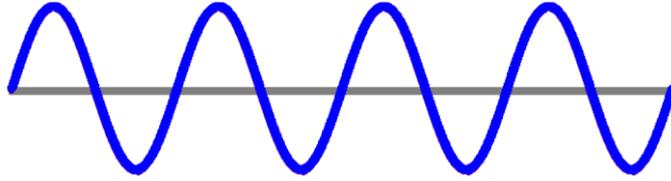
1. Determine o número de cristas e vales e o número de ondas exibidas no padrão de onda transversal mostrado abaixo.



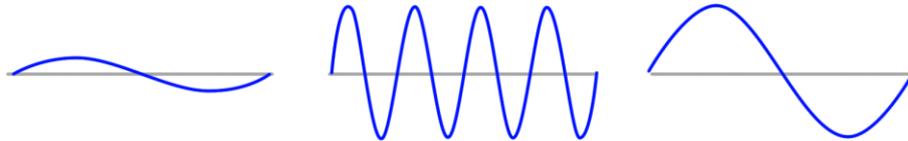
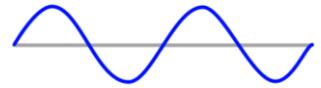
2. Identifique as compressões e as rarefações nos seguintes padrões de onda longitudinalis.



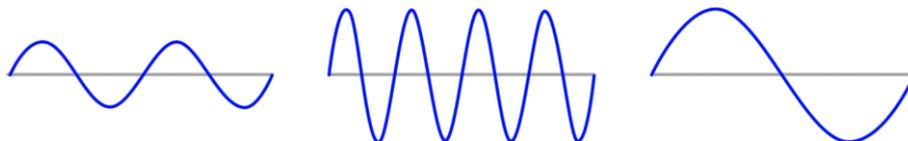
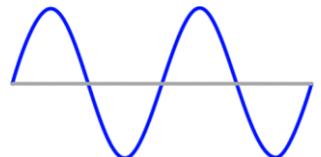
3. Uma corda está vibrando em alta frequência. O comprimento da corda é de 6,00 metros. Um instantâneo da corda em um dado momento também é mostrado. Use esta informação para determinar o comprimento de onda da onda.



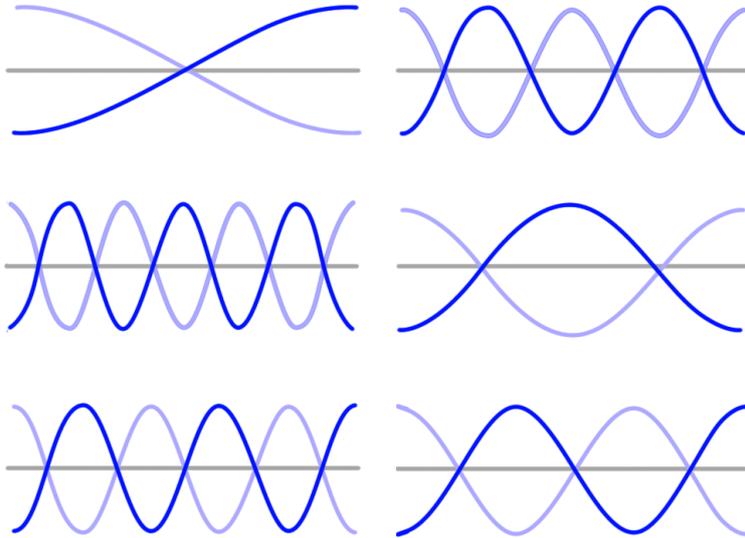
4. O diagrama à direita é um instantâneo no tempo de uma onda se movendo ao longo de uma corda. Qual diagrama abaixo representa uma onda se movendo através da mesma corda, mas tendo o dobro do comprimento de onda e metade da amplitude? Justifique.



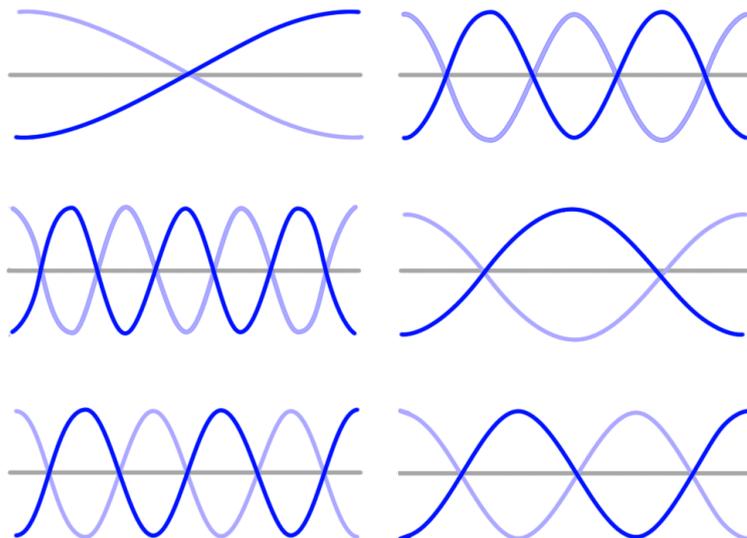
5. O diagrama à direita é um instantâneo no tempo de uma onda se movendo ao longo de uma corda. Qual diagrama abaixo representa uma onda vibrando com as duas vezes a frequência e se movendo através da mesma corda e, portanto, tendo a mesma velocidade? Justifique.



6. Identifique o padrão de onda estacionária para uma coluna de ar, em um tubo aberto, que esteja vibrando com um padrão de onda de primeiro, segundo e terceiro harmônicos, justificando a identificação com as características destes padrões.



7. Uma coluna de ar de extremidade aberta tem um comprimento de 60cm. Calcule e identifique o padrão de ondas estacionárias para o harmônico que tem um comprimento de onda de 24cm.



8. Uma batida produz ruído. Uma série de batidas pode constituir música?

9. A altura e o volume das vozes de duas pessoas podem ser iguais, mas facilmente conseguimos distinguir uma da outra. Por quê? Resposta esperada: a voz de cada pessoa possui uma mistura característica de tons. Cada pessoa tem seu próprio timbre.

10. A propagação do som acontece se não existe qualquer material (ar, água, partículas, etc.)? Como o som é capaz de chegar aos espectadores em diferentes pontos de uma sala?

Estas questões estão no APÊNDICE B — QUESTÕES DE VERIFICAÇÃO, formatadas para melhor utilização e possibilidade de edição pelo professor que pretende aplicar esta sequência didática.