



UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS, MATEMÁTICA E TECNOLOGIAS

PRODUTO EDUCACIONAL

**GUIA DIDÁTICO PARA O ENSINO DE
ONDAS SONORAS: ensino por
investigação e uso das tecnologias móveis**

ANAXIMANDRO DALRI MERIZIO

JOINVILLE, SC
2018

Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA

Programa: ENSINO DE CIÊNCIAS, MATEMÁTICA E TECNOLOGIAS

Nível: MESTRADO PROFISSIONAL

Área de Concentração: Ensino de Ciências, Matemática e Tecnologias.

Linha de Pesquisa: Ensino Aprendizagem e Formação de Professores

Título: GUIA DIDÁTICO PARA O ENSINO DE ONDAS SONORAS: ensino por investigação e uso das tecnologias móveis

Autor: Anaximandro Dalri Merizio

Orientador: Luiz Clement

Data: 28/05/2018

Produto Educacional: Guia Didático

Nível de ensino: Ensino Médio.

Área de Conhecimento: Física

Tema: Ondas Sonoras

Descrição do Produto Educacional:

Apresenta-se nesse produto educacional um conjunto de cinco Ações de Ensino Investigativas - AEI, desenvolvidas para a utilização com as Tecnologias Móveis, no contexto do ensino das Ondas Sonoras, na disciplina de Física, no Ensino Médio. São apresentadas situações-problema referente às AEI, bem como possíveis encaminhamentos tanto para a resolução quanto para a implementação dessas.

Biblioteca Universitária UDESC: <http://www.udesc.br/bibliotecauniversitaria>

Publicação Associada: ENSINO POR INVESTIGAÇÃO E TECNOLOGIAS MÓVEIS: suportes para o ensino de Ondas Sonoras

URL: <http://www.udesc.br/cct/ppgecmt>

Arquivo	*Descrição	Formato
0012017.pdf	Texto completo	Adobe PDF

Licença de uso: Este Produto Educacional está licenciado sob uma licença Creative Commons.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fotografia dos tubos sonoros analisados	13
Figura 2 – Fotografia do dispositivo	13
Figura 3 – Suporte triangular móvel	29
Figura 4 – Localização da “tarraxa”	32
Figura 5 – Localizando a nota lá na primeira corda	36
Figura 6 – Tela principal do aplicativo <i>Spectral Audio</i>	42
Figura 7 – Utilizando o <i>Spectral Audio</i>	43
Figura 8 – Aplicativo <i>Tuner – DaTuner (Lite!)</i>	43

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	7
1 ORIENTAÇÕES DIDÁTICO-PEDAGÓGICAS	9
1.1 AÇÃO DE ENSINO INVESTIGATIVA N. 1 - TUBOS E FLAUTAS	16
1.1.1 Sugestões para a resolução da Situação-Problema	17
1.1.2 Sugestões para a implementação da AEI	20
1.2 AÇÃO DE ENSINO INVESTIGATIVA N. 2 – VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS SONORAS	24
1.2.1 Sugestões para a resolução da Situação-Problema	24
1.2.2 Sugestões para a implementação da AEI	25
1.3 AÇÃO DE ENSINO INVESTIGATIVA N. 3 – MONOCÓRDIO	28
1.3.1 Sugestões para a resolução da Situação-Problema	29
1.3.2 Sugestões para a implementação da AEI	31
1.4 AÇÃO DE ENSINO INVESTIGATIVA N.4 – “AFINANDO” UM INSTRUMENTO MUSICAL	35
1.4.1 Sugestões para a resolução da Situação-Problema	35
1.4.2 Sugestões para a implementação da AEI	37
1.5 AÇÃO DE ENSINO INVESTIGATIVA N.5 – ACIDENTE DE TRÂNSITO	39
1.5.1 Sugestões para a resolução da Situação-Problema	39
1.5.2 Sugestões para a implementação da AEI	40
1.6 UTILIZAÇÃO DOS APLICATIVOS	42
1.6.1 Spectral Audio	42
1.6.2 Tuner – DaTuner (Lite!)	43
REFERÊNCIAS	45

INTRODUÇÃO

Olá Docente!

Apresentamos nesse Guia Didático algumas orientações didático-metodológicas tendo como objetivo o protagonismo do estudante na construção do seu conhecimento, o que inclui uma participação ativa no processo de ensino-aprendizagem da Física no Ensino Médio.

Destacamos que raramente possibilita-se aos estudantes que participem ativamente de atividades didáticas que, além de ampliarem o interesse deles, potencializem a promoção da autonomia, implicando em uma atitude ativa no ensino na disciplina. O que ocorre atualmente é o uso excessivo de práticas pedagógicas que privilegiam a memorização de conceitos e de procedimentos/algoritmos de resolução de problemas para posterior cobrança em atividades avaliativas. Os momentos expositivos, a resolução de listas de exercícios, por exemplo, tem o seu espaço no ensino na disciplina e também são necessários. O que destacamos é que, mesmo com o excessivo tempo didático destinado para essas metodologias, a aprendizagem dos estudantes na disciplina evidencia-se muito abaixo do esperado. Nesse sentido, propomos com este Produto Educacional fornecer algumas orientações com o objetivo de contribuir para a alteração do cenário anteriormente descrito. Assim, como possibilidade para o ensino de Física, destacamos o Ensino por Investigação, bem como o uso das Tecnologias Móveis, especificamente os tablets e/ou smartphones que encontram-se cada vez mais acessíveis e presentes no dia-a-dia dos estudantes.

Neste Produto Educacional, destinado aos docentes da disciplina de Física do Ensino Médio, apresentamos a proposição de cinco Ações de Ensino Investigativas (AEI) desenvolvidas considerando a inserção das Tecnologias Móveis, especificamente os tablets e/ou smartphones. As AEI foram desenvolvidas tendo como referencial teórico principal as considerações de García e García (2000) e referem-se ao processo de ensino-aprendizagem da temática das ondas sonoras, com foco de estudo na disciplina de Física, do Ensino Médio.

Esse guia didático está organizado em um capítulo, subdividido em seções. No início do Capítulo 1, são fornecidas algumas reflexões e orientações sobre o Ensino por Investigação, bem como sobre a utilização das Tecnologias Móveis. Nossa prática docente e os resultados da pesquisa descrita na dissertação do autor deste material nos permite afirmar sobre a viabilidade da implementação de uma perspectiva investigativa, em que as Tecnologias Móveis se fazem presentes, no ensino de Física. Além disso, apresentamos as AEI desenvolvidas e sugestões tanto para as resoluções das situações-problema quanto para a

implementação em sala de aula. Na seção 1.6 sugerimos o uso de dois aplicativos, de fácil utilização e disponíveis gratuitamente quando desenvolvemos as AEI.

Objetivamos com esse guia didático fornecer contribuições para o ensino de Física, evidenciando possibilidades para a abordagem didática das ondas sonoras, considerando as potencialidades do Ensino por Investigação e das Tecnologias Móveis.

1 ORIENTAÇÕES DIDÁTICO-PEDAGÓGICAS

Apresentamos uma proposição para a utilização das Tecnologias Móveis em Ações de Ensino Investigativas (AEI), no ensino de Física na Educação Básica, especificamente no Ensino Médio, na temática das ondas sonoras.

Consideramos que a temática das ondas sonoras encontra-se presente no cotidiano dos estudantes. Nesse contexto, acreditamos que a utilização dessa temática nas AEI propostas pode motivar os estudantes para a aprendizagem, bem como contribuir para a apreensão de conhecimentos. Além disso, conforme aponta Souza (2013), fenômenos envolvendo ondas estão presentes em outras áreas da Física.

Ressaltamos que existem diversos entendimentos e nomenclaturas relacionadas ao Ensino por Investigação, sendo que nesse guia didático utilizamos como referencial teórico principal as orientações apresentadas por García e García (2000). A seguir, algumas características do Ensino por Investigação são apresentadas, bem como a perspectiva proposta por García e García (2000).

O Ensino por Investigação compreende uma perspectiva de ensino-aprendizagem em que os problemas ou situações-problema adquirem um papel central no processo educacional (AZEVEDO, 2009; CARVALHO, 2016; CLEMENT, 2013; GARCÍA, GARCÍA, 2000; NRC, 2008; ZOMPERO, LABURÚ, 2016). As situações-problema no ensino investigativo relacionam-se com situações em que objetiva-se uma mudança, por parte do estudante e também do docente, em relação ao que ocorre tradicionalmente no ensino de Física. Enquanto que no ensino exclusivamente expositivo e diretivo espera-se que o estudante passivamente absorva/memorize/armazene os conteúdos transmitidos e expostos pelo docente, no ensino investigativo o estudante adquire o papel de protagonista na construção da sua aprendizagem, na medida em que: elabora hipóteses utilizando-se dos seus conhecimentos; procura desenvolver estratégias para resolver a situação-problema apresentada; obtém novas informações em vários contextos, experimentais ou não; busca, organiza e analisa as informações obtidas. Além disso, coloca em confronto os seus conhecimentos prévios com as novas informações obtidas, e comunica os resultados encontrados.

Nessa perspectiva de ensino-aprendizagem, a função do docente também é alterada, sendo que o seu papel não é mais o de transmissor do conhecimento, mas sim configurando-se em um orientador, questionando o estudante, fornecendo informações adequadas para o prosseguimento da investigação o que pode incluir, também, alguns momentos expositivos,

sendo que o aspecto principal é que a atividade docente tem como objetivo contribuir com a investigação desenvolvida pelos estudantes.

Além disso, o ensino investigativo envolve, de acordo com Clement (2013), a aprendizagem de conteúdos científicos e também aprendizagens sobre a Ciência. Assim, pode-se procurar evitar a imagem que muitos estudantes possuem sobre a Ciência como, por exemplo, que apenas alguns indivíduos podem construí-la e também compreendê-la. Compreender que a Ciência envolve uma jornada, com um início definido mas sem um ponto de chegada garantido e que, ao mesmo tempo, configura-se como uma atividade desafiadora, criativa, estimulante, pode contribuir para uma mudança da concepção do estudante sobre a produção do conhecimento científico, além de motivá-lo para a aprendizagem na área.

Uma possibilidade é o desenvolvimento de um ambiente educacional que possibilite a existência de semelhanças com o processo de construção do conhecimento científico, em que o estudante amplia o seu protagonismo em detrimento de uma atitude meramente receptora de conteúdos científicos. Não está considerando-se o estudante como um “cientista em miniatura”, nem mesmo espera-se que, de maneira solitária e sem auxílio, o estudante construa todo o conhecimento da Física, que muitas vezes necessitou de um tempo significativo para o seu estabelecimento.

O importante nessa aproximação entre o ambiente educacional e a atividade científica é que a produção de conhecimento, considerando a existência de singularidades em cada contexto, envolve um processo de investigação. E tal cenário encontra-se escamoteado no atual ensino na disciplina, pois raramente os estudantes encontram oportunidades de participarem de investigações, ao mesmo tempo em que a baixa motivação e interesse para a aprendizagem da Física tornam-se cada vez mais evidentes.

Ressaltamos que diante do complexo cenário que envolve a educação, o Ensino por Investigação apresenta-se como alternativa para algumas questões presentes no ensino de Física, mas certamente não representa a solução para todos os problemas existentes na educação.

Não objetivamos apresentar todas as características do Ensino por Investigação ou efetuar uma análise mais detalhada de cada uma de suas características. Destacamos, entretanto, alguns aspectos que consideramos relevantes no Ensino por Investigação e que são identificados pelas pesquisas e documentos sobre o assunto: a importância fundamental das situações-problemas; a promoção de distintos conhecimentos (conceituais, procedimentais e atitudinais); o desenvolvimento de uma visão coerente sobre a construção do conhecimento científico; a promoção da argumentação; a ampliação do interesse, motivação e autonomia

nos estudantes. Sobre os conhecimentos conceituais, procedimentais e atitudinais, sugerimos a leitura de Clement (2004) e de Coll e Valls (2000).

Um suporte teórico para a implementação de um Ensino por Investigação no ambiente escolar é fornecido por García e García (2000), que apontam a existência de três momentos/etapas considerando a programação das atividades didáticas, a saber:

- a busca, seleção, elaboração e reconhecimento da situação-problema, que também relaciona-se com a motivação do estudante para à aprendizagem;
- a resolução da situação-problema por meio da interação entre os conhecimentos prévios dos estudantes e as novas informações obtidas durante a investigação;
- o desenvolvimento da revisão sobre o processo realizado, a construção de conclusões e a realização da comunicação dos resultados da atividade investigativa.

Considerando o primeiro momento, sugerimos a organização dos estudantes em pequenos grupos, com três/quatro estudantes e apresenta-se a situação-problema. Destacamos a necessidade de se fornecer um tempo para que os estudantes dialoguem sobre a situação-problema, emitam as suas hipóteses, elaborem estratégias para a resolução da situação-problema. O docente pode realizar problematizações sobre a situação-problema, bem como sobre as hipóteses realizadas. Nesse sentido, apresentamos em cada AEI algumas problematizações que o docente pode realizar.

No terceiro momento, os estudantes de cada equipe podem apresentar os resultados obtidos aos demais, proporcionando um momento de análise dos resultados, de identificação sobre possíveis erros que podem ser superados com novas estratégias de resolução. A comunicação dos resultados obtidos é uma característica presente na atividade científica e, ao ser desenvolvida no contexto escolar, pode fazer com que os estudantes desenvolvam a capacidade de utilizar a linguagem científica para a explicação das situações apresentadas. É um cenário diferente daquele tradicionalmente presente no ensino de Física, em que o estudante memoriza determinados conhecimentos para a avaliação na disciplina.

Além disso, a utilização das Tecnologias Móveis como, por exemplo, os tablets e/ou smartphones, tanto por estudantes quanto educadores, encontra-se cada vez mais presente no dia-a-dia, em distintas ações que as pessoas realizam. Por meio dessas tecnologias, é possível utilizar a internet, assistir vídeos, comunicar-se com os outros. Enfim, existe uma grande quantidade de ações que podem ser realizadas. Além disso, essas tecnologias possuem, em sua maioria, alguns detectores de grandezas físicas sendo que as informações podem ser obtidas por meio de aplicativos. Como exemplo, é possível a instalação de aplicativos para

obtermos, dependendo das configurações do aparelho disponível, medidas da aceleração de um corpo, das frequências emitidas por uma fonte sonora, do campo magnético em um determinado local.

Assim, essas tecnologias ao mesmo tempo que proporcionam o acesso à notícias, textos e vídeos, também possibilitam a obtenção de novas informações, principalmente na análise de fenômenos físicos, caracterizando-se como um recurso didático. Nesse sentido, identificamos a existência do potencial didático-pedagógico para sua utilização no ensino de Física. Entretanto, embora existam várias possibilidades didáticas e mesmo sendo utilizadas, tanto por estudantes quanto por docentes, fora da escola, percebemos a pouca presença do uso dessas tecnologias no espaço escolar.

Apresentamos a seguir uma proposição de cinco Ações de Ensino Investigativas (AEI), a serem desenvolvidas utilizando as Tecnologias Móveis, especificamente os tablets e/ou smartphones. Essas AEI foram desenvolvidas para a implementação no ensino das ondas sonoras, sendo que identificamos que as Tecnologias Móveis podem contribuir nessa temática, devido a possibilidade de se mensurar a frequência emitida por uma determinada fonte sonora. Além disso, fornecemos algumas orientações que podem contribuir para a implementação dessas AEI na disciplina de Física. Nesse sentido, sugerimos a utilização de materiais/dispositivos relativamente acessíveis para aquisição e/ou construção.

Também apresentamos os resultados obtidos, por meio de alguns aplicativos existentes nos tablets e/ou smartphones, na análise dos fenômenos físicos envolvidos nas AEI. Os resultados que apresentamos foram obtidos por meio da utilização de um tablet, embora evidenciamos que a diferença em relação aos smartphones muitas vezes refere-se apenas às suas dimensões.

Nas duas primeiras AEI, sugerimos a utilização de tubos sonoros. Utilizamos uma flauta conhecida como “flauta de pão” ou “flauta pan”, que consistia de um conjunto de tubos sonoros com uma extremidade aberta e outra extremidade fechada. A flauta foi “desmontada”, de modo a obtermos distintos tubos sonoros. Na Figura 1 é apresentada uma fotografia dos tubos sonoros analisados.

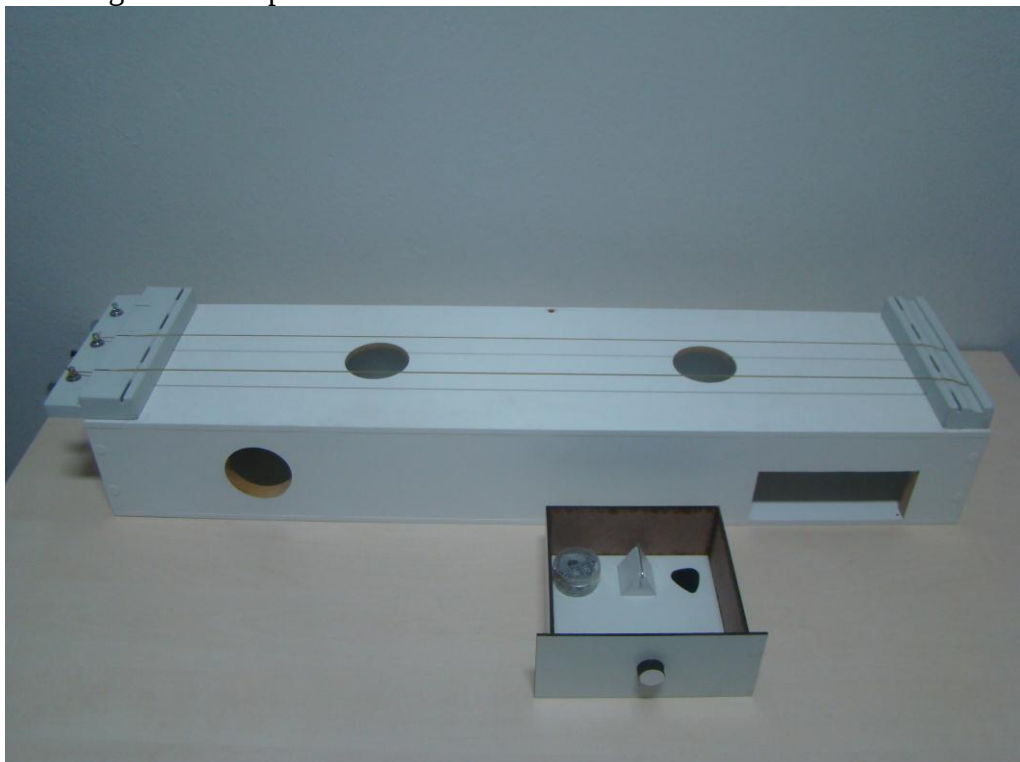
Figura 1 – Fotografia dos tubos sonoros analisados



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Para a terceira e a quarta AEI, tendo como referência o monocórdio utilizado pelo filósofo grego Pitágoras (WHITE; WHITE, 1980), foi construído um dispositivo semelhante a esse, mas em que haviam duas cordas, com espaço para adicionar mais uma. A localização das notas não está presente nesse dispositivo e existe, como material de apoio, uma palheta, uma fita métrica flexível e um suporte triangular. O dispositivo é apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Fotografia do dispositivo



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Destacamos que o professor pode adaptar as orientações aqui realizadas de acordo com as condições disponíveis, que envolve o número de aulas, a quantidade de estudantes por turma, a estrutura física da escola. Mas, consideramos essencial e possível que as atividades em que os estudantes estejam inseridos, caracterizem-se como investigações. Nesse sentido, também são apresentadas algumas sugestões para o desenvolvimento, no ambiente escolar, dos momentos propostos por García e García (2000). No Quadro 1 apresentamos as situações-problemas e a quantidade de aulas sugeridas para a implementação das AEI.

Quadro 1 – Ações de ensino investigativas (AEI)

Ações de ensino investigativas (AEI)	Situações-problema	Quantidade de aulas
AEI – 01 Tubos e Flautas	Parte a) Uma empresa que produz instrumentos musicais deseja ampliar seus negócios e iniciar a confecção de tubos sonoros para a confecção de flautas conhecidas como “flautas de pão” ou “flautas pan”. Suponha que você é contratado pela empresa e, nessa condição, deverá propor uma solução para a seguinte demanda: Construir tubos sonoros para a emissão de sons agudos e para a emissão de sons graves. Para tal, elabore e teste uma estratégia para a confecção dos tubos sonoros a serem utilizados para a confecção das flautas. Elabore um registro escrito que possa ser utilizado pela empresa no processo de construção dos tubos sonoros. Parte b) A empresa produziu dois tubos sonoros com as mesmas características daqueles analisados por sua equipe, um com 60 cm de comprimento e outro com 6 cm de comprimento. Qual tubo sonoro produzirá a onda sonora mais grave? Por que? Com base nos resultados obtidos na etapa anterior, determine as frequências das ondas sonoras emitidas pelos tubos sonoros.	04 aulas
AEI – 02 Velocidade de propagação das ondas sonoras	Qual a velocidade de propagação das ondas sonoras no ar? Para determinação dessa velocidade, utilize os tubos sonoros disponíveis.	02 aulas
AEI – 03 Monocórdio	Seu grupo recebeu um instrumento musical, conforme figura a seguir, fabricado por uma determinada empresa, em que a localização das notas não foi estabelecida. Para auxiliar na avaliação do instrumento e demarcação das notas, elabore e teste uma estratégia que permita obter e prever, na mesma corda, três notas musicais de mesmo nome, sem utilizar a regulagem do parafuso (“tarraxa”). Elabore uma orientação escrita que possa ser fornecida para a empresa e que sirva de apoio para a demarcação das notas musicais.	04 aulas
AEI – 04 “Afinando” um instrumento musical	Um músico deseja afinar um instrumento musical, semelhante aquele que a sua equipe tem à disposição, um pouco antes de começar a se apresentar. A primeira corda do instrumento é afinada por meio de um afinador existente no celular/tablet. Entretanto, a bateria do celular/tablet descarrega, não sendo mais possível utilizá-la. O músico sabe a posição das notas no instrumento. Desenvolva e implemente um método que o	02 aulas

	músico poderia utilizar para afinar as outras cordas sem um afinador. Registre por escrito o método proposto.	
AEI – 05 Acidente de Trânsito	Um perito criminal é contratado para analisar um acidente de trânsito em uma avenida, no centro de uma cidade, envolvendo um carro e um ciclista. Felizmente, nenhum dos envolvidos machucou-se gravemente. Uma testemunha que estava parada no local, ao perceber a possibilidade de um acidente, tentou gravá-lo em vídeo, mas gravou apenas um áudio do local. Em depoimento, a testemunha afirmou que o motorista buzinou para tentar evitar o acidente. O perito, ao analisar o carro, grava um áudio da buzina do veículo. A sua equipe tem à disposição os dois áudios: do perito e da testemunha. Utilizando os dados fornecidos, elabore uma estratégia para determinar a velocidade do carro no momento da colisão. Ele estava movendo-se com velocidade acima da permitida pelas leis de trânsito?	02 aulas

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

As cinco Ações de Ensino Investigativas (AEI) apresentadas foram planejadas considerando a sua inserção de forma pontual no ensino de Física ou seja, no ensino das ondas sonoras o docente pode utilizar todas as ações ou utilizar algumas selecionadas, de acordo com o seu planejamento e com outras condições existentes.

Destacamos que a utilização de todo o conjunto das AEI propostas consegue abordar uma quantidade significativa dos conhecimentos físicos existentes na temática, comparando com a abordagem didática realizada de forma tradicional, além de possibilitar o desenvolvimento de aprendizagens procedimentais e atitudinais e direcionar-se para a promoção da autonomia e ampliação da motivação nos estudantes.

Um outro aspecto refere-se ao momento em que essas AEI podem ser aplicadas. As ações AEI-01, AEI-02 e AEI-03 foram planejadas para a utilização em situações em que os estudantes possuem conhecimento de alguns conceitos básicos como, por exemplo, o conceito de velocidade de propagação de uma onda, comprimento de onda e frequência. Nessas ações, o que objetiva-se é uma ampliação do conhecimento do estudante. Nas ações AEI-04 e AEI-05, o propósito é o desenvolvimento da capacidade do estudante mobilizar, respectivamente, os conhecimentos de ressonância (AEI-04) e efeito Doppler (AEI-05), abordados em aulas anteriores no ensino de Física, para a resolução de uma determinada situação-problema.

Existem várias possibilidades para o desenvolvimento de um Ensino por Investigação no ambiente escolar, sendo que as orientações realizadas nesse material caracterizam-se como sugestões para o docente. Assim, o docente ao considerar as particularidades de cada ambiente de ensino pode utilizar os momentos propostos por García e García (2000) por meio de outras estratégias. Exceto a AEI-02, todas as outras AEI envolvem situações fictícias, que tem como objetivo criar um “cenário” que motive o estudante para a aprendizagem.

1.1 AÇÃO DE ENSINO INVESTIGATIVA N. 1 - TUBOS E FLAUTAS

Situação-problema:

Parte a) Uma empresa que produz instrumentos musicais deseja ampliar seus negócios e iniciar a confecção de tubos sonoros para a confecção de flautas conhecidas como “flautas de pão” ou “flautas pan”. Suponha que você é contratado pela empresa e, nessa condição, deverá propor uma solução para a seguinte demanda:

Construir tubos sonoros para a emissão de sons agudos e para a emissão de sons graves.

Para tal, elabore e teste uma estratégia para a confecção dos tubos sonoros a serem utilizados para a confecção das flautas. Elabore um registro escrito que possa ser utilizado pela empresa no processo de construção dos tubos sonoros.

Orientações:

Estabeleça uma estratégia, em conjunto com os seus colegas, para a resolução da situação-problema.

Se necessário, consultem o professor sobre a estratégia desenvolvida.

Execute a estratégia considerada adequada.

Registre a estratégia utilizada e os resultados obtidos.

Situação-problema:

Parte b) A empresa produziu dois tubos sonoros com as mesmas características daqueles analisados por sua equipe, um com 60 cm de comprimento e outro com 6 cm de comprimento. Qual tubo sonoro produzirá a onda sonora mais grave? Por que?

Com base nos resultados obtidos na etapa anterior, determine as frequências das ondas sonoras emitidas pelos tubos sonoros.

1.1.1 Sugestões para a resolução da Situação-Problema

Apresentamos a seguir uma possibilidade para a resolução da situação-problema apresentada.

Nos tubos sonoros, fechados e abertos, existe a formação de ondas estacionárias no interior do tubo, existindo nós e ventres, de deslocamento e de pressão. Na extremidade aberta, o nó de pressão e o ventre de deslocamento não localizam-se exatamente na extremidade do tubo, mas sim em um local além desse ponto, localizado fora do tubo. O comprimento geométrico do tubo não é, assim, o comprimento efetivo em termos de análise dos tubos sonoros.

A equação que permite a determinação das frequências emitidas por um tubo sonoro com uma extremidade aberta e outra fechada, geralmente é apresentada no ensino de Física, no Ensino Médio, com o formato $f_n = \frac{nV}{4L}$, em que $n = 1, 3, 5, 7, \dots$, V é a velocidade de propagação das ondas sonoras no ar e L é o comprimento do tubo sonoro. Assim, a frequência fundamental é obtida por $f = \frac{V}{4L}$. Se a velocidade de propagação das ondas sonoras for constante no decorrer da investigação, têm-se uma relação inversamente proporcional entre a frequência e o comprimento do tubo sonoro.

Dessa forma, é necessária a mensuração da frequência e do comprimento do tubo. Para a obtenção do comprimento do tubo pode-se utilizar uma régua milimetrada, de fácil aquisição e utilização tanto pelo docente quanto pelos estudantes.

Importante

A frequência fundamental fornecida por um tubo sonoro com uma extremidade aberta e outra fechada, de acordo com Hirth, Kuhn e Müller (2015), é fornecida pela equação

$$f = \frac{c}{4(L + a)},$$

em que c é a velocidade de propagação do som no ar, L é o comprimento geométrico do tubo e $a = 0,61R$, em que R é o raio do tubo. Quando $a \ll L$, temos

$$f = \frac{c}{4L}$$

Nesse produto educacional, consideramos satisfatório, para uso no Ensino Médio, a utilização da equação acima para as flautas pan que utilizamos.

Os resultados que serão apresentados adiante corroboram com esse apontamento.

Assim, ao nos referirmos ao comprimento do tubo, estamos nos referindo, também, ao comprimento efetivo em termos acústicos.

Sobre a determinação do comprimento do tubo sonoro, devido ao formato irregular nas duas extremidades dos tubos que utilizamos, foi necessário efetuar uma estimativa sobre o comprimento do tubo. Nesse sentido, não foi realizada a análise da propagação dos erros, embora os resultados experimentais, ao serem comparados com os resultados teóricos previstos, foram satisfatórios para esse nível de ensino.

Para a mensuração da frequência emitida pelo tubo sonoro, pode-se utilizar um tablet e/ou smartphone com algum aplicativo instalado com essa função. Utilizamos o aplicativo *Spectral Audio*, que encontrava-se disponível gratuitamente para instalação. No capítulo 2 desse produto existem algumas orientações sobre o uso desse aplicativo. Ressaltamos que existem outros aplicativos que permitem a mensuração da frequência emitida por um tubo sonoro.

A seguir, apresentam-se alguns resultados obtidos utilizando-se os tubos sonoros existentes em uma “flauta de pão/flauta pan”, um tablet e o aplicativo *Spectral Audio*. Antes da análise dos resultados, destacamos algumas questões sobre a determinação experimental dos comprimentos dos tubos sonoros e das frequências das ondas sonoras emitidas.

Utilizando o aplicativo e os tubos sonoros disponíveis, foram determinados o valor teórico para a frequência fundamental emitida pelo tubo, o comprimento do tubo, além da obtenção da frequência fundamental emitida pelo tubo. Os resultados encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados obtidos utilizando os tubos sonoros

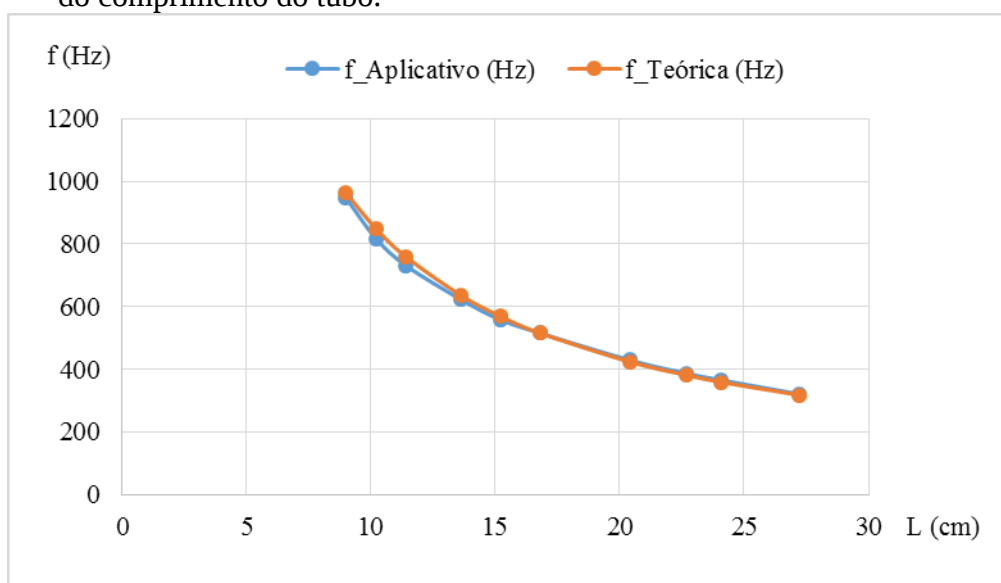
L (cm)	f_Teórica (Hz)	f_Aplicativo (Hz)	Erro percentual (%)
9,0	963	947	1,66
10,2	850	818	3,76
11,4	760	732	3,68
13,6	637	624	2,04
15,2	570	559	1,93
16,8	516	516	0,00
20,4	425	430	1,18
22,7	382	387	1,31
24,1	360	366	1,67
27,2	319	322	0,94

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017. Outras informações: Velocidade de propagação das ondas sonoras no ar: 346,6 m/s; L = comprimento geométrico do tubo; f_Teórica = frequência fundamental teórica utilizando a equação $f = V/4L$; f_Aplicativo = frequência fundamental obtida por meio do aplicativo; Erro percentual = módulo do erro percentual tendo como referência a frequência fundamental teórica.

Considerando o módulo do erro percentual em relação ao valor teórico previsto, para os tubos sonoros analisados, consideramos que os resultados obtidos por meio do aplicativo são satisfatórios para esse nível de ensino.

A consistência dos resultados também pode ser verificada no Gráfico 1, que evidencia a frequência fundamental teórica prevista e a frequência fundamental obtida pelo aplicativo em função do comprimento geométrico do tubo.

Gráfico 1 – Frequência fundamental teórica e frequência obtida experimentalmente em função do comprimento do tubo.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017. Outras informações: $f_{\text{Aplicativo}}$ = Frequência fundamental obtida pelo aplicativo; $f_{\text{Teórica}}$ = Frequência fundamental teórica utilizando a equação $f = V/4L$; L = comprimento geométrico do tubo. Os dados para a construção do gráfico estão presentes na Tabela 1.

Para o encaminhamento da resolução da situação-problema, destacamos a possibilidade do desenvolvimento de uma equação, que permita, por exemplo, determinar o comprimento do tubo sonoro para que emita determinada frequência.

Dessa forma, pode-se construir um modelo para a situação-problema apresentada, considerando que as grandezas físicas frequência e comprimento do tubo sonoro são inversamente proporcionais. Na Tabela 2, apresenta-se os valores do comprimento e da frequência.

Tabela 2 – Construindo um modelo

Comprimento do tubo sonoro (cm)	Frequência obtida utilizando o aplicativo (Hz)	f x L (Hz.cm)
9,0	947	8523,0
10,2	818	8343,6
11,4	732	8344,8
13,6	624	8486,4
15,2	559	8496,8
16,8	516	8668,8
20,4	430	8772,0
22,7	387	8784,9
24,1	366	8820,6
27,2	322	8758,4
f x L (média) = 8599,93 ou, aproximadamente, f x L = 8599,9		

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

A relação matemática entre as grandezas físicas é dada

$$\text{por } f = \frac{k}{L}.$$

Com os dados da tabela 2, obtém-se o seguinte modelo

$$f = \frac{8599,9}{L},$$

em que K = 8599,9 Hz.cm.

1.1.2 Sugestões para a implementação da AEI

A ação de ensino investigativa n.1 – AEI-01 envolve uma situação-problema fictícia sobre a construção de uma flauta, também conhecida como “flauta de pão” ou “flauta pan”. Por meio de tubos sonoros com uma extremidade aberta e uma extremidade fechada é possível a obtenção de ondas sonoras de diferentes frequências.

Sobre a implementação no contexto escolar apresentamos algumas sugestões. Considerando o primeiro momento de García e García (2000), torna-se necessário a criação de um contexto didático-pedagógico para a proposição da situação-problema. Pode-se, inicialmente, apresentar a situação-problema aos estudantes que, na proposta aqui apresentada, organizam-se em pequenas equipes, compostas por três/quatro estudantes. Nessa apresentação, pode-se utilizar de um projetor multimídia ou cada estudante pode receber uma cópia da situação-problema. Além disso, é importante e necessário que seja disponibilizado tempo para os estudantes debaterem e se apropriarem da situação-problema.

A demanda apresentada é a construção de tubos sonoros para a emissão de sons agudos e para a emissão de sons graves. Considera-se que os estudantes já possuem algumas informações prévias sobre ondas, ou até mesmo sobre ondas sonoras como, por exemplo, velocidade de propagação, frequência e comprimento de onda, infrassom e ultrassom, abordados no ensino de Física em momentos anteriores.

Uma flauta com essas características, conforme anteriormente mencionada, tem um custo relativamente baixo e pode ser desmontada. Tendo-se disponível distintos tubos sonoros que contém em uma flauta pan, pode-se entregar dois tubos para cada equipe, se possível com comprimentos e diâmetros distintos, de modo que os estudantes familiarizem-se com a emissão de sons nesses tubos, além de iniciarem uma análise sobre os sons emitidos.

Para o desenvolvimento da situação, torna-se necessária a compreensão sobre o que caracteriza um som agudo e um som grave. Nesse contexto, que relaciona-se com o segundo momento proposto por García e García (2000), os estudantes podem realizar pesquisas, em diferentes fontes para conseguirem dar prosseguimento ao processo investigativo.

Um aspecto necessário é a compreensão, por parte dos estudantes, de que a caracterização de um som agudo ou grave ocorre pela comparação entre as frequências das ondas sonoras.

Além disso, como cada equipe tem dois tubos sonoros disponíveis, os questionamentos efetuados pelo docente podem desenvolver a reflexão sobre quais grandezas físicas são utilizadas nessa investigação.

Apresentamos no quadro ao lado, algumas sugestões de problematizações que podem ser utilizadas no decorrer da atividade.

Pode-se fornecer mais alguns tubos sonoros para cada equipe, de maneira que ocorra a identificação, por parte dos estudantes, de que a frequência das ondas sonoras emitidas pelo tubo sonoro depende do comprimento do tubo.

Destacamos que na implementação que consta na dissertação do autor deste Guia Didático, informamos que os estudantes tinham como hipótese de que o diâmetro também influenciava, sendo que essa hipótese que foi refutada no decorrer da investigação.

O processo de desenvolvimento e implementação de uma estratégia para a resolução da demanda fornecida deve ocorrer em cada equipe. Objetiva-se que ocorra a identificação da necessidade de se determinar os comprimentos dos tubos e as frequências emitidas por eles.

Problematizações sugeridas para o decorrer da atividade

Sugerimos algumas perguntas a serem realizadas no decorrer da atividade.

→ O que são sons graves e agudos?

→ Como é possível distinguir sons graves e agudos?

→ Todos os tubos sonoros emitem o “mesmo som”?

→ Do que depende “o som” emitido pelos tubos?

→ Quais medidas são necessárias? Como realizar essas medidas?

→ Como organizar os dados obtidos?

→ Quais informações devem constar no registro escrito que será utilizado pela empresa?

Os recursos como, réguas, tablets e/ou smartphones, se forem fornecidos pelos docentes não devem ficar visíveis aos estudantes, nesse momento. Consideramos necessário que, no decorrer da investigação, os estudantes percebam a necessidade desses recursos. Se os materiais pertencerem aos estudantes, a nossa sugestão é na mesma direção, pois é importante que seja identificada a necessidade de utilização dos recursos.

A ação do docente pode ser no sentido de, após os estudantes perceberem que a frequência e o comprimento são grandezas relevantes, problematizar sobre como seria possível medir essas grandezas. Para a obtenção do comprimento dos tubos sonoros, podem ser utilizadas réguas “milimetradas”, de fácil aquisição e manuseio. A obtenção da frequência pode ser realizada por meio da utilização das Tecnologias Móveis, como o tablet e/ou smartphone, com o uso de aplicativos que analisam o espectro sonoro.

Uma possibilidade para os dispositivos que utilizam o sistema operacional *Android* é a utilização do aplicativo *Spectral Audio*, disponível gratuitamente. O docente pode, por meio de uma momento expositivo, mostrar o funcionamento do aplicativo, destacando como proceder para medir as frequências emitidas pelos tubos sonoros.

Existem vários aplicativos, disponíveis gratuitamente para esses dispositivos, ou pelo menos com algumas funções gratuitas, que podem ser utilizados. Devido à celeridade com que desenvolve-se novos produtos e aplicações, o docente pode identificar aqueles que melhor atendam a sua necessidade.

Considerando esse contexto em que os estudantes utilizam o aplicativo para obter as frequências das ondas sonoras emitidas pelos tubos e a régua para a obtenção do comprimento do tubo, a organização e análise dos dados desempenha um papel importante para a continuidade da investigação.

O docente, nesse cenário, pode questionar as equipes sobre como organizar e analisar as informações obtidas, sugerindo, caso os estudantes demonstrem dificuldades nesse momento, a utilização de tabelas e/ou gráficos. Ressaltamos que é necessário fornecer um certo tempo para que os estudantes busquem formas para registrar e analisar as informações obtidas, sendo que o professor pode sugerir encaminhamentos metodológicos se considerar que existe essa necessidade.

Se for necessário, a construção do gráfico pode ser realizada utilizando as Tecnologias Móveis. Com os dados registrados, em um formato semelhante à Tabela 1, apresentada anteriormente, é possível identificar que a medida que o comprimento do tubo aumenta, a frequência da onda sonora emitida diminui.

A construção de uma equação que permite relacionar duas grandezas físicas como, por exemplo, a frequência da onda sonora em função do comprimento do tubo, provavelmente não é algo comum para os estudantes, pois geralmente no ensino de Física as relações matemáticas entre grandezas físicas são apresentadas prontas, raramente discutindo-se o processo de construção dessas.

Os estudantes também podem, por exemplo, registrar e analisar os dados conforme a Tabela 2. A orientação adequada do professor, como em todo o ensino investigativo, é muito importante nesse momento, na medida em que questiona os estudantes para a busca por alguma regularidade no fenômeno investigado. Na terceira coluna da Tabela 2, evidenciada anteriormente, apresentamos o produto entre a frequência das ondas sonoras obtidas por meio do aplicativo e o comprimento do tubo sonoro.

O terceiro momento de García e García (2000) envolve o processo de revisão sobre o que foi desenvolvido, o estabelecimento de conclusões, além da comunicação sobre os resultados obtidos.

Uma possibilidade é a apresentação dos resultados de cada equipe para os outros estudantes, utilizando desde o quadro até outros recursos tecnológicos como, por exemplo, um projetor multimídia. Por meio da comunicação dos resultados, existe a possibilidade dos estudantes revisarem os resultados, ao realizarem a comparação desses com aqueles obtidos pelos demais. Nesse processo, pode-se questionar sobre os limites de validade do modelo, bem como as dificuldades encontradas no processo investigativo. Assim, se os estudantes percebem a existência de algum erro no desenvolvimento do processo investigativo, podem retomar a investigação com objetivo de superá-lo.

Após esse processo, desenvolve-se a escrita do material para a empresa, evidenciando-se a sistematização dos conhecimentos construídos pelos estudantes. A sistematização pode ser realizada de forma individual ou em equipes, por meio de um registro escrito, configurando-se como mais um instrumento para a análise sobre a aprendizagem dos estudantes.

Além disso, pode-se solicitar aos estudantes a resolução da situação-problema existente na Parte b, utilizando os conhecimentos construídos ao longo do processo. Essa resolução pode ocorrer individualmente ou em pequenos grupos.

1.2 AÇÃO DE ENSINO INVESTIGATIVA N. 2 – VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS SONORAS

Situação-problema:

Qual a velocidade de propagação das ondas sonoras no ar? Para determinação dessa velocidade, utilize os tubos sonoros disponíveis.

Orientações:

Estabeleça uma estratégia, em conjunto com os seus colegas, para a resolução da situação-problema.

Se necessário, consultem o professor sobre a estratégia desenvolvida.

Execute a estratégia considerada adequada.

Registre a estratégia utilizada e o resultado obtido.

Compare o valor obtido com o valor tabelado. Qual o erro percentual obtido?

1.2.1 Sugestões para a resolução da Situação-Problema

Nessa ação de ensino investigativa, a situação-problema relaciona-se com a determinação da velocidade de propagação das ondas sonoras no ar. Nos tubos sonoros com uma extremidade aberta e a outra fechada, ou com as duas extremidades abertas, existe o estabelecimento de ondas estacionárias no interior dos tubos.

Em uma extremidade fechada existe um nó de deslocamento e um ventre de pressão. Em uma extremidade aberta existe, localizado a uma pequena distância fora do tubo, um nó de pressão e um ventre de deslocamento.

Conforme apontamos anteriormente, consideramos satisfatório para os tubos sonoros que utilizamos, o uso do modelo comumente utilizado no Ensino Médio. Dessa forma, ao nos referirmos, sobre a formação de ondas estacionárias, no interior do tubo, ao comprimento geométrico do tubo é igual ao comprimento acústico.

Sugerimos a leitura do artigo “Ondas sonoras estacionárias em um tubo: análise de problemas e sugestões”, de Vieira, Amaral e Lara (2014).

Assim, obtém-se para a frequência fundamental emitida por um tubo sonoro com uma extremidade fechada e uma aberta, a equação $\lambda = 4L$ e para um tubo sonoro com as duas

extremidades abertas $\lambda = 2L$, em que λ é o comprimento de onda da onda sonora e L é o comprimento do tubo.

Para determinação da velocidade de propagação de uma onda sonora no ar (V), para ambos os tubos, pode-se utilizar a equação $V = \lambda f$. Além disso, para a frequência fundamental em tubos sonoros com uma extremidade aberta e a

outra fechada, pode-se obter $f = \frac{V}{4L}$, e para os tubos

com as duas extremidades abertas, $f = \frac{V}{2L}$.

Utilizando-se novamente, da Tabela 1, os dados experimentais $L = 16,8$ cm e $f = 516$ Hz, por exemplo, obtém-se, a velocidade de propagação do som no ar igual a 346,752 m/s, aproximadamente 347 m/s.

1.2.2 Sugestões para a implementação da AEI

Pode-se utilizar os tubos sonoros utilizados na AEI-01, que os estudantes já conhecem, mas também é possível a utilização de tubos sonoros com as duas extremidades abertas. Se for possível, consideramos oportuna a utilização, ao mesmo tempo, dos dois tipos de tubos sonoros, o que proporciona a necessidade de um maior entendimento sobre as diferenças entre as frequências emitidas.

A AEI-02 pode ser implementada em um contexto em que os estudantes já compreendam a formação de ondas estacionárias em tubos sonoros. Mas também é possível sua utilização no início da abordagem didática do assunto. Nossa sugestão, aqui apresentada, é para a utilização após a abordagem didática das ondas estacionárias em tubos sonoros.

Inicialmente, a situação-problema é apresentada aos estudantes, organizados em pequenos grupos/equipes. Se a AEI-01 também foi implementada em aulas anteriores, o

Problematizações sugeridas para o decorrer da atividade

Sugerimos algumas perguntas a serem realizadas no decorrer da atividade.

→ Como são denominadas as ondas formadas no interior dos tubos sonoros? Quais as características dessas ondas?

→ Existem tubos sonoros distintos daqueles que cada equipe tem à disposição? Em caso afirmativo, por que eles são distintos?

→ Existe alguma relação entre a frequência da onda sonora emitida pelo tubo sonoro, o comprimento do tubo e a velocidade de propagação do som no ar?

→ Quais medidas são necessárias? Como realizar essas medidas?

→ Do que depende a velocidade de propagação das ondas sonoras no ar?

→ Como determina-se o erro percentual?

docente poderia não entregar inicialmente as flautas pan, se apenas essas forem utilizadas, bem como outros materiais como réguas, tablets e/ou smartphones, mas deixar esses materiais visíveis em algum local, informando que podem ser utilizados na investigação.

É necessário fornecer aos estudantes um tempo para se apropriarem da situação-problema. O docente também pode realizar problematizações como, por exemplo, sobre qual o tipo de onda formada no interior dos tubos fornecidos. Apresentamos no quadro existente na página anterior, algumas problematizações que podem ser realizadas pelo docente no decorrer da atividade.

Objetiva-se que os estudantes, por meio dos seus conhecimentos e/ou de outras fontes, identifiquem a formação das ondas estacionárias no interior dos tubos, além da relação entre o comprimento de onda e o comprimento do tubo, considerando a frequência fundamental. Esse processo faz parte do desenvolvimento de hipóteses e estratégias a serem utilizadas para a resolução da situação-problema, sendo necessário que seja disponibilizado tempo para que os estudantes elaborarem encaminhamentos nesse sentido.

Se considerar necessário, o docente pode questionar os estudantes sobre a existência de nós e ventres de deslocamento ou de pressão no interior do tubo além de problematizar se é possível estabelecer uma relação entre o comprimento de onda e o comprimento do tubo sonoro.

A relação $\lambda = 4L$, para tubos semelhantes a flauta pan, com uma extremidade aberta e a outra fechada, pode ser obtida considerando, por exemplo, que na extremidade fechada existe um nó de deslocamento e na extremidade aberta existe um ventre de deslocamento.

É provável, na implementação dessa AEI, que os estudante já foram apresentados à equação $V = \lambda f$, em aulas anteriores, sendo que podem ser questionados sobre a existência de uma equação que permite obter a velocidade de propagação de uma onda. A existência de uma equação que relacione a frequência da onda sonora com a velocidade de propagação do som e com o comprimento do tubo também pode ser problematizada, objetivando que os estudantes obtenham a equação $f = \frac{V}{4L}$.

Destacamos que é importante os estudantes identificarem a necessidade da mensuração do comprimento e da frequência. Nesse sentido, para a obtenção do comprimento, os estudantes podem utilizar uma régua ou os dados obtidos na implementação da AEI-01. A frequência pode ser obtida por meio do aplicativo *Spectral Audio*, que já foi abordado na AEI-01 ou os dados obtidos naquela atividade.

Após os estudantes determinarem a velocidade de propagação das ondas sonoras no ar, o docente pode questionar qual o valor de referência geralmente utilizado nas aulas de Física. Essa ação é necessária, pois para a obtenção do erro percentual, deve-se utilizar um valor de referência.

Destacamos que a velocidade de propagação das ondas sonoras no ar depende da temperatura. Os estudantes, nas equipes, podem pesquisar em livros didáticos e em fontes de informações, sobre essa dependência.

Uma possibilidade é que os estudantes identifiquem a necessidade de um termômetro para a mensuração da temperatura local e determinação de um valor previsto. Consideramos que um termômetro já é suficiente para uma turma, pois a obtenção da temperatura é realizada rapidamente e sem dificuldade pelos estudantes.

A etapa de comunicação dos resultados obtidos pode ser realizada em grande grupo. Além disso, o docente pode apresentar aos estudantes como determina-se o erro percentual. Pode ser fornecido um tempo aos estudantes para a determinação desse valor, solicitando que cada equipe comunique os valores obtidos.

Se a AEI-01 também foi implementada, o docente pode dialogar com os estudantes sobre as equações existentes na AEI-01 e na AEI-02.

Após esse momento de apresentação, análise e revisão sobre toda a investigação, os estudantes podem sistematizar, por meio de um texto escrito, os resultados obtidos, sendo que esse processo pode ocorrer individualmente ou coletivamente.

Para tubos com uma extremidade aberta e a outra fechada, podemos utilizar a equação

$$f = \frac{V}{4L}$$

Se a velocidade é constante, é possível escrever a equação da seguinte forma:

$$f = \frac{K}{L}, \text{ em que}$$

$$k = \frac{V}{4}.$$

Na AEI-01 também foi obtida uma equação com o formato

$$f = \frac{K}{L}.$$

1.3 AÇÃO DE ENSINO INVESTIGATIVA N. 3 – MONOCÓRDIO

Situação-problema:

Seu grupo recebeu um instrumento musical, conforme figura a seguir, fabricado por uma determinada empresa, em que a localização das notas não foi estabelecida. Para auxiliar na avaliação do instrumento e demarcação das notas, elabore e teste uma estratégia que permita obter e prever, na mesma corda, três notas musicais de mesmo nome, sem utilizar a regulagem do parafuso (“tarraxa”).

Elabore uma orientação escrita que possa ser fornecida para a empresa e que sirva de apoio para a demarcação das notas musicais.

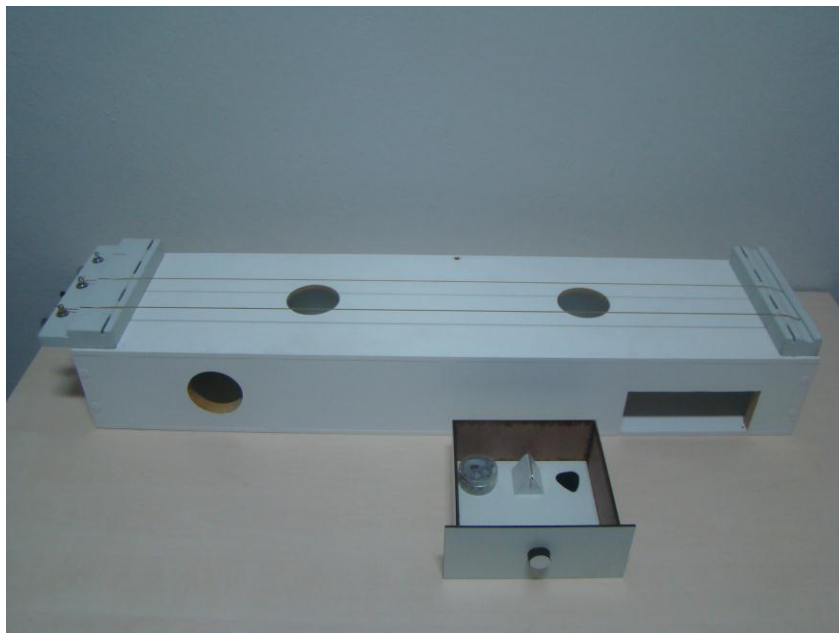
Orientações:

Estabeleça uma estratégia, em conjunto com os seus colegas, para a resolução da situação-problema.

Se necessário, consultem o professor sobre a estratégia desenvolvida.

Execute a estratégia considerada adequada.

Registre a estratégia utilizada e os resultados obtidos.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

1.3.1 Sugestões para a resolução da Situação-Problema

Para a realização dessa ação de ensino propomos a utilização de um instrumento denominado “Monocórdio”, retratada anteriormente. No instrumento construído, existe mais de uma corda, tendo como objetivo o desenvolvimento da AEI-04.

No interior do instrumento contém uma pequena gaveta e nela encontram-se uma palheta, um suporte triangular móvel para ser utilizado na localização das notas musicais e uma fita métrica flexível.

O dispositivo foi desenvolvido sem as “marcações” das notas musicais, sendo que nos instrumentos musicais esse espaço é denominado como “traste”. Na Figura 3, apresentamos uma sugestão para utilização do suporte triangular móvel no processo de emissão das notas musicais. A palheta também está presente na figura.

Figura 3 – Suporte triangular móvel



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018. Outras informações: a palheta visualizada na figura também pode ser utilizada na obtenção das notas musicais.

Na Tabela 3, apresentamos os resultados obtidos por meio de um tablet, utilizando o monocórdio e o aplicativo *Tuner – DaTuner (Lite!)*, disponível gratuitamente para o sistema operacional *Android*. Além disso, essas informações foram utilizadas para a construção do Gráfico 2.

No aplicativo, aparece um número ao lado da(s) letra(s) que representa(m) a nota musical. Os estudantes podem apresentar dúvidas sobre o que representa esse número.

Para compreensão da existência desse número, é necessário o uso do termo “uma oitava”. Como exemplo, destacamos da Tabela 3, as notas mi, E2, E3 e E4, que apresentam as frequências iguais a 82,4 Hz, 164,8 Hz e 329,6 Hz, respectivamente.

A nota E3 possui o dobro da frequência da nota E2 e, no contexto musical, afirma-se que a nota E3 está “uma oitava acima” da nota E2. A mesma nota E3 possui metade da frequência da nota E4, assim, afirma-se que a nota E3 está “uma oitava abaixo” da nota E4.

Notas musicais	Letra(s) que as representam
Dó	C
Dó sustenido	C#
Ré	D
Ré Sustenido	D#
Mi	E
Fá	F
Fá Sustenido	F#
Sol	G
Sol sustenido	G#
Lá	A
Lá Sustenido	A#
Si	B

Tabela 3 – Resultados obtidos

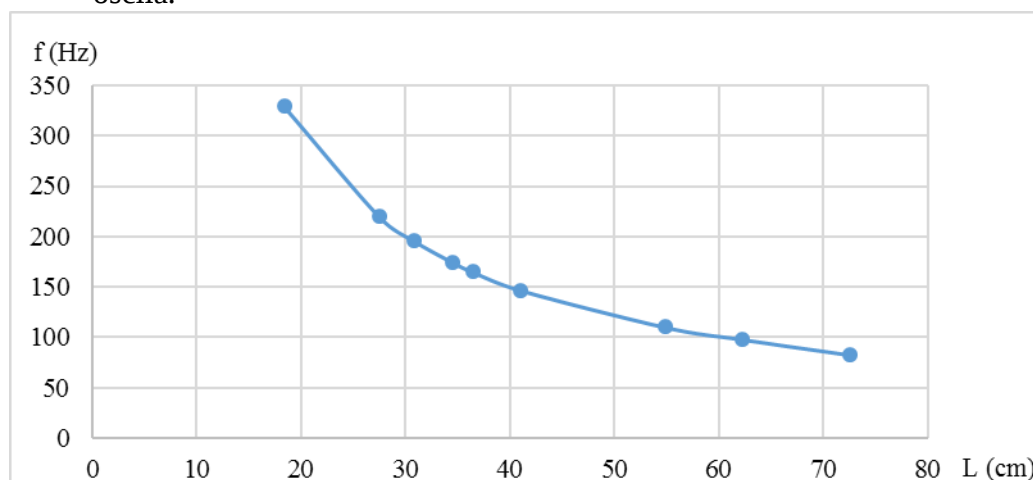
Nota musical	f (Hz)	L (cm)	f x L (Hz.cm)
Mi2 (E2)	82,4	72,6	5982,24
Sol2 (G2)	98,0	62,2	6095,6
Lá2 (A2)	110,0	54,9	6039,0
Ré3 (D3)	146,8	41,0	6018,8
Mi3 (E3)	164,8	36,5	6015,2
Fá3 (F3)	174,6	34,5	6023,7
Sol3 (G3)	196,0	30,8	6036,8
Lá3 (A3)	220,0	27,5	6050,0
Mi4 (E4)	329,6	18,4	6064,64

$f \times L$ (média) = 6036,22 ou, aproximadamente, $f \times L = 6036$

Fonte: Elaborado pelo autor, 2018. Outras informações: f = frequência da onda sonora obtida por meio do afinador instalado no Tablet; L = comprimento da corda que oscila; $f \times L$ = produto entre f e L.

As medidas do comprimento do segmento de corda que oscila foram efetuadas com uma fita métrica flexível, que encontra-se no interior da gaveta existente no monocórdio. Optamos por utilizá-la pois é o mesmo recurso que os estudantes tem à disposição. Além disso, consideramos que para esse nível de ensino e o objetivo da atividade, que o modelo desenvolvido foi satisfatório. Na figura a seguir, apresentamos o gráfico da frequência da onda sonora emitida em função do comprimento da corda que oscila.

Gráfico 2 – Frequência emitida pelo dispositivo em função do comprimento da corda que oscila.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018. Outras informações: f = frequência da onda sonora obtida por meio do afinador instalado no Tablet; L = comprimento da corda que oscila.

Utilizando como referência a Tabela 3 e o Gráfico 2 é possível identificar uma relação matemática entre as grandezas físicas envolvidas, de forma que $f.L$ é aproximadamente igual a 6036.

1.3.2 Sugestões para a implementação da AEI

Essa ação de ensino, no que refere-se à construção de modelos, possui semelhanças com a AEI-01, desenvolvida com os tubos sonoros com uma extremidade aberta e outra fechada. O docente pode analisar se haverá a utilização/mobilização dos conhecimentos construídos na AEI-01 para a resolução da presente situação-problema.

Na implementação dessa AEI, sugerimos que cada equipe receba um monocórdio, preferencialmente “afinado” anteriormente pelo docente. No caso do monocórdio, a primeira corda é semelhante aquelas utilizadas em violões, sendo que sugerimos que essa esteja “afinada em mi” com a frequência de 82,4 Hz, ou seja, que a corda emita a nota mi com essa frequência quando for colocada para vibrar e estiver solta, sem o uso do suporte triangular. Para afinar o instrumento, utiliza-se a tarraxa, que permite alterar a tensão na corda. A localização da “tarraxa” é apresentada na Figura 4.

Figura 4 – Localização da “tarraxa”



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Uma outra possibilidade para a implementação dessa AEI, é a construção desse dispositivo, em cada equipe, ou a utilização de algum instrumento de corda como, por exemplo, um violão.

Inicialmente, apresenta-se a situação-problema aos estudantes que estão organizados em pequenos grupos/equipes. Sugerimos o fornecimento de um tempo para que os estudantes, além de se apropriarem da situação-problema, familiarizarem-se com o instrumento, emitindo algumas notas musicais, analisando para que serve cada objeto existente no interior da gaveta presente no dispositivo. Ressaltamos que, conforme aponta a situação-problema, os estudantes não devem manusear a “tarraxa”, isto é, modificar a tensão na corda por intermédio de ajustes na tarraxa.

Mesmo que os estudantes já tenham participado das AEI-01 e AEI-02, espera-se que o conceito de nota musical ainda não tenha sido abordado em sala de aula. O docente pode problematizar os estudantes sobre o que são notas musicais e quais existem. Assim, parte da pesquisa dos estudantes envolve a compreensão sobre o que são notas musicais, quantas existem e qual grandeza física as caracteriza.

Problematizações sugeridas para o decorrer da atividade

Sugerimos algumas perguntas a serem realizadas no decorrer da atividade.

→ O que caracteriza uma nota musical?

→ Quais notas musicais existem?

→ O que significa o termo “uma oitava”?

→ Como emitir notas musicais no monocórdio?

→ Como identificar as notas musicais emitidas pelo instrumento?

→ Do que depende a nota musical emitida no monocórdio?

→ Quais medidas são necessárias? Como realizar essas medidas?

→ Como organizar os dados obtidos?

→ Quais informações devem constar na orientação escrita que será fornecida à empresa?

Objetiva-se que os estudantes compreendam que uma nota musical é caracterizada pela frequência da onda sonora e que identifiquem que existe uma mudança na frequência da onda sonora em virtude da alteração do comprimento da corda que oscila, pois a medida em que o comprimento da corda vibrante aumenta, a frequência da onda sonora emitida diminui. No quadro localizado na página anterior, sugerimos algumas problematizações que podem ser realizadas no decorrer da implementação da AEI-03.

Para a mensuração do comprimento da corda vibrante, a fita métrica flexível pode ser utilizada. Sobre a identificação das notas musicais emitidas pelo instrumento, pode-se questionar aos estudantes se eles conhecem algum dispositivo para verificar a nota emitida por determinado instrumento.

Nesse cenário, sugerimos a utilização de um afinador, que pode ser facilmente instalado em um tablet/smartphone, sendo que existem vários aplicativos gratuitos que possuem essa função. Uma possibilidade para dispositivos que possuem o sistema operacional *Android* é o uso do aplicativo *Tuner – DaTuner (Lite!)*, que fornece a nota musical emitida e a frequência associada à nota. O aplicativo é de fácil utilização, mas podem surgir dúvidas quanto a letra associada à nota musical. No capítulo 2 desse produto educacional são fornecidas algumas orientações sobre o uso desse aplicativo.

Assim, os dados obtidos pelos estudantes podem ser alvo de diálogo entre o docente e as equipes, sendo que podem ser evidenciados os termos “uma oitava”, “uma oitava acima” e “uma oitava abaixo”. Por exemplo, pode-se questionar os estudantes sobre o motivo pelo qual a nota E3 possui o dobro da frequência da nota E2. Além disso, o docente também pode problematizar sobre como registrar os dados obtidos, sendo que os estudantes podem organizar os valores em tabelas e/ou em gráficos

O docente também pode dialogar com os estudantes sobre a possibilidade do desenvolvimento de uma equação, para contribuir no processo de demarcação das notas musicais. Se os estudantes participaram anteriormente da AEI-01, o docente pode analisar sobre como esse processo é realizado, realizando intervenções didáticas, se considerar necessário.

A construção de um gráfico com algum aplicativo específico existente no tablet/smartphone, representando as grandezas envolvidas, pode ser sugerida pelo docente, mas antes é oportuno solicitar aos estudantes que representem um esboço em uma folha, considerando as suas ideias. Assim, o uso das tecnologias móveis também auxilia no processo de verificação das hipóteses desenvolvidas.

Além disso, ao término da construção do gráfico e de uma relação matemática entre as grandezas físicas analisadas, pode-se promover um momento em que os estudantes realizam a comunicação dos resultados obtidos na investigação para os demais colegas, ocorrendo uma análise sobre o processo, a localização de eventuais erros e, nesse sentido, se for necessário, o desenvolvimento e estabelecimento de uma nova estratégia. Os estudantes também podem verificar se o modelo construído identifica corretamente a localização de outras notas musicais. Após esse momento, os estudantes em pequenos grupos elaboram a orientação escrita para a empresa, conforme apresentado na situação-problema.

1.4 AÇÃO DE ENSINO INVESTIGATIVA N.4 – “AFINANDO” UM INSTRUMENTO MUSICAL

Situação-problema:

Um músico deseja afinar um instrumento musical, semelhante aquele que a sua equipe tem à disposição, um pouco antes de começar a se apresentar. A primeira corda do instrumento é afinada por meio de um afinador existente no celular/tablet. Entretanto, a bateria do celular/tablet descarrega, não sendo mais possível utilizá-la. O músico sabe a posição das notas no instrumento. Desenvolva e implemente um método que o músico poderia utilizar para afinar as outras cordas sem um afinador. Registre por escrito o método proposto.

Orientações:

Estabeleça uma estratégia, em conjunto com os seus colegas, para a resolução da situação-problema.

Se necessário, consultem o professor sobre a estratégia desenvolvida.

Execute a estratégia considerada adequada.

Registre a estratégia utilizada e os resultados obtidos.

1.4.1 Sugestões para a resolução da Situação-Problema

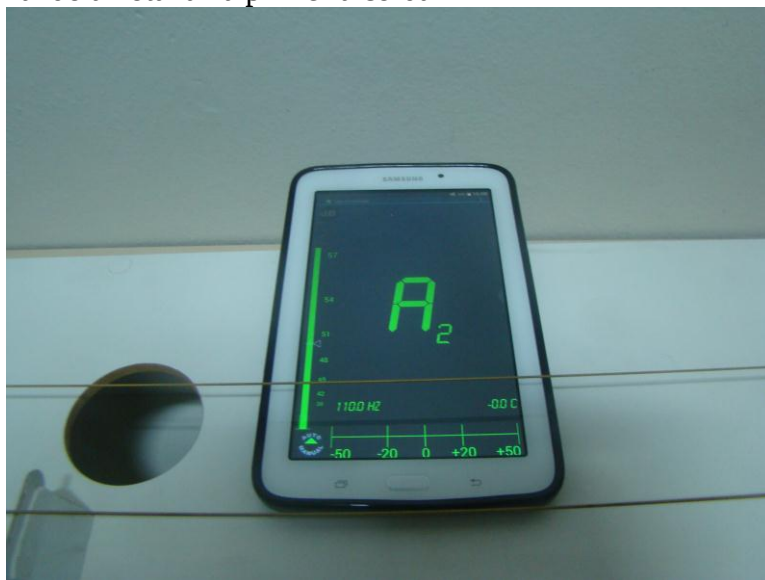
A resolução da situação-problema envolve a utilização do fenômeno da ressonância. Considerando a situação apresentada, o processo de se reconstruir o cenário é importante, pois o músico conseguiu afinar a primeira corda do instrumento com o afinador instalado no celular/tablet.

Sobre a afinação a ser utilizada, as cordas existentes no monocórdio são semelhantes aquelas utilizadas em uma guitarra/violão. Utilizando a “afinação” comumente utilizada no contexto musical, a primeira nota solta, sem o uso do suporte triangular, emitirá a nota mi, de frequência igual a 82,4 Hz, ao ser colocada para vibrar e, a segunda corda emitirá a nota lá, também sem o uso do suporte triangular, de frequência igual a 110,0 Hz.

Para afinar o monocórdio, é necessário alterar a tensão da corda por meio da tarraxa até a obtenção das notas desejadas. Sugerimos que a primeira corda seja afinada em mi, utilizando-se a tarraxa e o aplicativo *Tuner – DaTuner (Lite!)*.

Além disso, como objetiva-se que a segunda corda esteja afinada em lá, deve-se identificar, na primeira corda, com o uso do aplicativo e do suporte triangular, a localização da nota lá, conforme mostra-se na Figura 5. Na primeira corda, então, o suporte triangular será posicionado no local em que a nota lá será emitida, se for colocada para vibrar. A localização da nota lá na primeira corda pode ser realizada por meio do tablet, pois na situação-problema apresentada o músico sabe a localização das notas no instrumento e, além disso, no monocórdio as notas musicais não encontram-se “marcadas”, diferentemente do que ocorre com outros instrumentos de corda.

Figura 5 – Localizando a nota lá na primeira corda



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018. Outras informações: na figura, é possível visualizar que o suporte triangular encontra-se no lado esquerdo inferior.

Nesse sentido, identificamos duas possibilidades fisicamente equivalentes para a resolução da situação-problema. Uma possibilidade é que a primeira corda seja colocada para oscilar, emitindo a nota lá. Enquanto isso, altera-se a tensão na segunda corda, por meio da tarraxa, até essa oscilar evidenciando o fenômeno da ressonância. A outra possibilidade é colocar a segunda corda para oscilar, solta, alterando a tensão na corda, com a tarraxa, até que a parte da primeira corda que emitiria a nota lá, oscile por meio da ressonância.

1.4.2 Sugestões para a implementação da AEI

Essa ação de ensino tem como objetivo proporcionar aos estudantes a mobilização de conhecimentos, por meio da utilização das características do fenômeno da ressonância, já abordados didaticamente em momentos anteriores, para a resolução da situação-problema.

Assim, um aspecto que consideramos necessário no ensino de Física é a utilização dos conhecimentos físicos em situações que ultrapassem a tradicional prática de resolução de exercícios.

É importante que o estudante tenha a oportunidade de mobilizar esses conhecimentos ou seja, utilizá-los em outros contextos, proporcionando uma aprendizagem mais efetiva. O instrumento que cada equipe tem à disposição é o dispositivo evidenciado na Figura 2, utilizado na AEI-03 e contendo, pelo menos, duas cordas.

Na abordagem do fenômeno da ressonância, nos momentos anteriores à essa AEI, sugere-se que o docente não efetue induções para direcionar o estudante na resolução da situação-problema que será apresentada. Ou seja, a situação-problema deverá configurar-se como uma novidade ao estudante, mesmo já conhecendo o dispositivo.

Na implementação didática dessa AEI, sugerimos que inicialmente apresente-se a situação-problema aos estudantes, organizados em equipes. Após esse momento, é necessário fornecer um certo tempo para o levantamento de hipóteses, a elaboração e implementação da estratégia desenvolvida pelas equipes. No dispositivo desenvolvido, existem pelo menos duas cordas.

O docente pode problematizar a equipe sobre a situação-problema e sobre o que significa “afinar” um instrumento musical. Além disso, pode questionar se algum estudante é músico ou tem conhecimentos de música, também problematizando sobre a “afinação”. No

Problematizações sugeridas para o decorrer da atividade

Sugerimos algumas perguntas a serem realizadas no decorrer da atividade.

→ O que significa “afinar” um instrumento musical?

→ Qual a afinação “padrão” existente em um instrumento como um violão, por exemplo?

→ Como “afinar” a primeira corda?

→ Como localizar as notas na primeira corda?

→ O que é ressonância?

→ Como utilizar o fenômeno da ressonância na resolução da situação-problema?

→ Como é possível verificar se o método implementado resolveu a situação-problema?

→ Quais informações devem constar no registro escrito do método?

quadro existente na página anterior, sugere-se algumas problematizações que podem ser utilizadas no desenvolvimento da atividade.

O monocórdio não necessita estar afinado, mas espera-se que os estudantes identifiquem a necessidade de recriarem a situação apresentada inicialmente, em que o músico fez uso do afinador existente no tablet para afinar a primeira corda. Assim, os estudantes podem, por exemplo, afinar a primeira corda, por meio de um aplicativo afinador e localizar as outras notas, conforme já foi realizado na AEI-03.

Uma possibilidade é que a afinação da primeira corda não seja alterada. Os estudantes podem emitir uma nota na primeira corda e, utilizando a tarraxa existente na segunda corda, regular a tensão nessa corda até que seja observada a ressonância. Isso pode ser verificado visualmente. Deve-se tomar cuidado para evitar que a corda, devido à aplicação de uma tensão muito grande, acabe “estourando”. Por isso, os estudantes devem consultar o docente antes da aplicação do método. Além disso, é importante que o docente acompanhe esse processo de utilização da tarraxa, realizando orientações se forem necessárias.

O docente pode perguntar aos estudantes sobre como é possível verificar se o método implementado resolveu a demanda apresentada, sendo que nesse sentido os estudantes podem utilizar o aplicativo afinador existente no tablet/smartphone.

O último momento, que envolve o estabelecimento das conclusões, a revisão sobre o processo e a comunicação dos resultados, pode ser uma situação oportuna para identificar se os estudantes utilizaram estratégias iguais ou diferentes. Ao término da atividade, se houver possibilidade, pode-se também utilizar as estratégias desenvolvidas pelas equipes para a afinação de um instrumento musical como, por exemplo, um violão.

1.5 AÇÃO DE ENSINO INVESTIGATIVA N.5 – ACIDENTE DE TRÂNSITO

Situação-problema:

Um perito criminal é contratado para analisar um acidente de trânsito em uma avenida, no centro de uma cidade, envolvendo um carro e um ciclista. Felizmente, nenhum dos envolvidos machucou-se gravemente. Uma testemunha que estava parada no local, ao perceber a possibilidade de um acidente, tentou gravá-lo em vídeo, mas gravou apenas um áudio do local. Em depoimento, a testemunha afirmou que o motorista buzinou para tentar evitar o acidente. O perito, ao analisar o carro, grava um áudio da buzina do veículo.

A sua equipe tem à disposição os dois áudios: do perito e da testemunha. Utilizando os dados fornecidos, elabore uma estratégia para determinar a velocidade do carro no momento da colisão. Ele estava movendo-se com velocidade acima da permitida pelas leis de trânsito?

Orientações:

Estabeleça uma estratégia, em conjunto com os seus colegas, para a resolução da situação-problema.

Se necessário, consultem o professor sobre a estratégia desenvolvida.

Execute a estratégia considerada adequada.

Registre a estratégia utilizada e os resultados obtidos.

1.5.1 Sugestões para a resolução da Situação-Problema

A compreensão do fenômeno do Efeito Doppler é necessária para o desenvolvimento da investigação. O efeito Doppler relaciona-se com a alteração da frequência percebida por um observador em função do movimento relativo entre a fonte e o observador.

A emissão e gravação dos áudios podem ser realizadas na seguinte página internet:
<http://onlinetonegenerator.com/>

Têm-se a disposição dois áudios, de frequência igual a 440 Hz e 478 Hz.

Os dois áudios possuem o mesmo “volume”. Para a obtenção da frequência, sugerimos o aplicativo *Tuner – DaTuner (Lite!)*, utilizado na AEI-03 e AEI-04. Não é possível identificar, inicialmente, qual áudio refere-se à gravação realizada pela testemunha e qual refere-se à gravação efetuada pelo perito. A delimitação das condições iniciais é necessária

para a investigação, pois o carro pode estar se afastando ou se aproximando da testemunha. Para a abordagem no ensino médio, consideramos a situação comumente utilizada de que o veículo e a testemunha encontra-se na mesma direção, sendo a avenida plana e horizontal e o veículo movendo-se em uma trajetória retilínea.

Para a utilização da equação do efeito Doppler, é necessário o valor da velocidade de propagação das ondas sonoras no ar. Considerando-se, por exemplo, que a temperatura local é igual a 20 °C e a velocidade de propagação do som no ar é igual a 343 m/s.

Se considera-se que ocorre uma aproximação entre a fonte e o observador, a frequência registrada pela testemunha é igual a 478 Hz e frequência gravada pelo perito é igual a 440 Hz. Utilizando a equação para o efeito Doppler, obtém-se para o veículo a velocidade de aproximadamente 27,27 m/s ou aproximadamente 98,17 km/h.

Considerando a hipótese do afastamento entre a fonte e o observador, a frequência registrada pela testemunha é igual a 440 Hz e a gravada pelo perito é de 478 Hz. Por meio da equação para o efeito Doppler, a velocidade do veículo é de aproximadamente 29,62 m/s, ou aproximadamente 106,63 km/h.

Nas duas situações, os resultados apontam para uma velocidade superior aquelas permitidas em uma avenida, no centro de uma cidade.

Equações

A determinação da frequência percebida pelo observador (f_{obs}), em virtude do movimento relativo entre a fonte e o observador é apresentada para duas situações.

Situação 1 - Fonte em movimento aproximando-se do observador que está em repouso

$$f_{obs} = f_{fonte} \cdot \frac{v_{som}}{v_{som} - v_{fonte}},$$

Situação 2 - Fonte em movimento aproximando-se do observador que está em repouso

$$f_{obs} = f_{fonte} \cdot \frac{v_{som}}{v_{som} + v_{fonte}}$$

As duas equações estão presentes em Sant'Anna et al. (2013).

1.5.2 Sugestões para a implementação da AEI

Assim como a AEI-04, o objetivo dessa ação de ensino é proporcionar a mobilização/utilização dos conhecimentos que já foram abordados em aulas anteriores, na

resolução da situação-problema proposta. Nesse sentido, consideramos que o assunto efeito Doppler já foi abordado em aulas anteriores.

No primeiro momento, apresenta-se a situação-problema aos estudantes, organizados em equipes pequenas. Cada equipe tem à disposição dois arquivos de áudio, cada um contendo uma onda sonora de frequência específica. Para a emissão desses dois arquivos, pode-se utilizar um computador com uma caixa de som.

No desenvolvimento da investigação, o docente, quando identificar a necessidade, pode efetuar questionamentos aos estudantes, sendo que no quadro ao lado apresentamos algumas problematizações que podem ser utilizadas no decorrer da implementação da AEI.

Objetiva-se que os estudantes identifiquem a necessidade de se delimitar a situação, estabelecendo se ocorre afastamento ou aproximação entre o veículo e a testemunha. A resolução das duas situações também pode ser desenvolvida pelas equipes.

Para a determinação da frequência das ondas sonoras, sugere-se a utilização do aplicativo *Tuner – DaTuner (Lite!)*, utilizado na AEI-03.

Para a utilização da equação do efeito Doppler, é necessário o valor da velocidade de propagação das ondas sonoras no ar, que depende da temperatura, podendo ser obtida pelas equipes. Se os estudantes participaram da AEI-02, pode-se retomar esse aspecto, fornecendo um termômetro para que determinem a velocidade de propagação do som no ar. Na utilização da equação, o docente pode acompanhar essa situação, dialogando com os estudantes sobre os dados a serem utilizados e os valores obtidos.

No terceiro momento, que envolve a revisão, estabelecimento de conclusões e comunicação dos resultados, cada equipe pode apresentar a estratégia desenvolvida e os resultados obtidos aos demais estudantes.

Problematizações sugeridas para o decorrer da atividade

Sugerimos algumas perguntas a serem realizadas no decorrer da atividade.

→ Qual áudio refere-se à gravação realizada pela testemunha?

→ Qual áudio refere-se à gravação realizada pelo perito?

→ O veículo está se afastando ou se aproximando da testemunha?

→ O que é o efeito Doppler?

→ Como utilizar o efeito Doppler para a resolução da situação-problema?

→ Quais medidas são necessárias? Como realizar essas medidas?

→ O veículo estava movendo-se com velocidade acima da permitida?

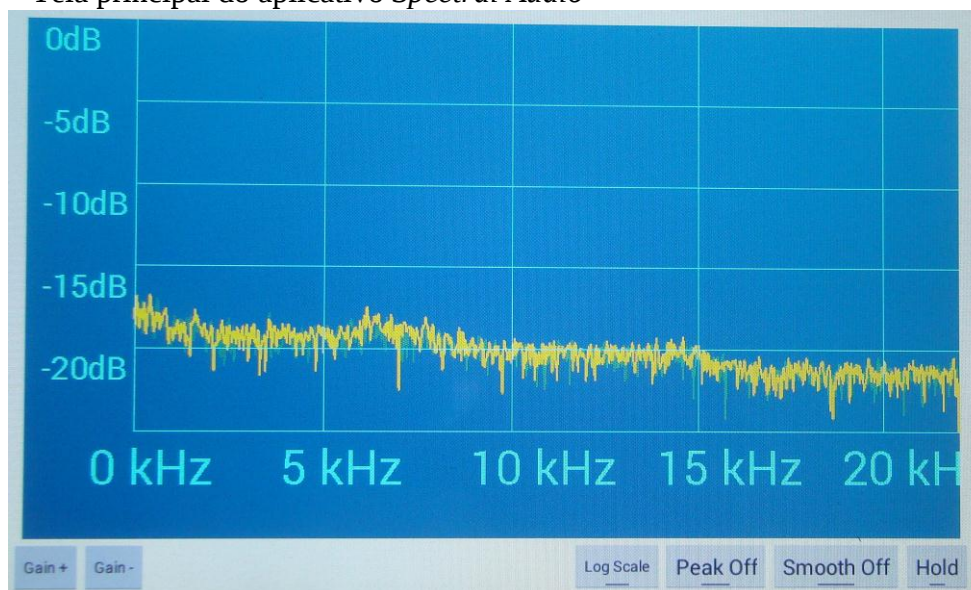
1.6 UTILIZAÇÃO DOS APLICATIVOS

Apresentamos nessa seção algumas orientações sobre a utilização do aplicativo *Spectral Audio* e do aplicativo *Tuner – DaTuner (Lite!)*, ambos disponíveis gratuitamente no momento em que foram utilizados, para o sistema operacional *Android*. Os dois aplicativos foram localizados por meio do aplicativo *Play Store*. Devido a celeridade com que desenvolvem-se aplicativos, o docente pode utilizar outros para a implementação das AEI.

1.6.1 Spectral Audio

Para utilização na AEI-01 e AEI-02, que abordam os tubos sonoros, sugerimos a utilização do aplicativo *Spectral Audio*. O aplicativo fornece a frequência emitida pelo tubo sonoro. Na Figura 6, visualiza-se a tela principal do aplicativo.

Figura 6 – Tela principal do aplicativo *Spectral Audio*



Fonte: Acervo do autor, 2018.

Para a mensuração da frequência, clica-se em *Peak Off*, sendo que aparecerá no seu lugar *Peak On*. Quando se está emitindo a onda sonora com determinado tubo clica-se em *Hold* e aparecerá no seu lugar, *Resume*.

O resultado pode ser visualizado na Figura 7, em que efetuamos a medida da frequência emitida por um determinado tubo sonoro.

Figura 7 – Utilizando o *Spectral Audio*

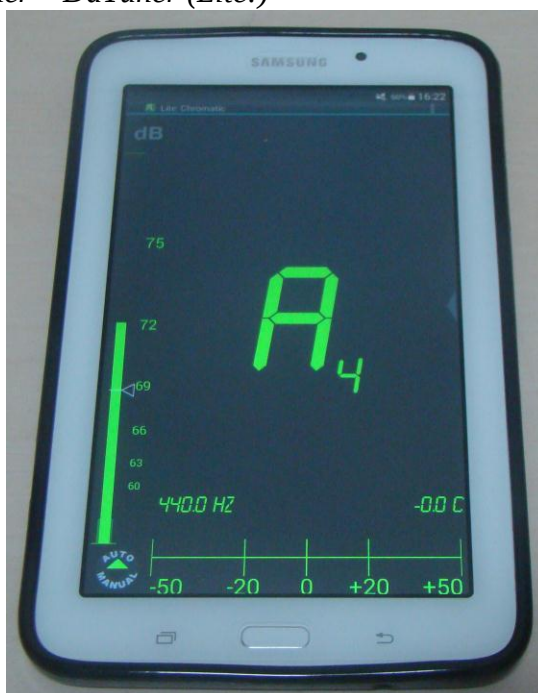


Fonte: Acervo do autor, 2018.

1.6.2 Tuner – DaTuner (Lite!)

Sugerimos a utilização do aplicativo *Tuner – DaTuner (Lite!)* na AEI-03, AEI-04 e AEI-05. O aplicativo informa a nota musical emitida por uma fonte sonora, além da frequência associada à nota. Na Figura 8, é possível visualizar a tela do aplicativo, em que obtém-se o valor de uma determinada frequência.

Figura 8 – Aplicativo *Tuner – DaTuner (Lite!)*



Fonte: Acervo do autor, 2018.

Analisando a figura, identificamos que o aplicativo informa que a nota emitida é o A4, ou lá4, com frequência igual a 440,0 Hz. No lado esquerdo da tela, o aplicativo também informa a intensidade sonora.

Outro aspecto, que destacamos anteriormente, refere-se a ao número existente ao lado da letra que representa a nota musical. Considerando a Figura 6, a nota A4 possui frequência igual a 440,0 Hz. A nota A3, por exemplo, tem frequência igual a 220,0 Hz. Assim, na linguagem musical, afirma-se que a nota A4 está uma oitava acima da nota A3, pois possui o dobro da frequência.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, Maria Cristina P. Stella de. Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula. In: CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. (Org.). **Ensino de ciências: unindo a pesquisa e a prática**. São Paulo: Cengage Learning, 2009. cap. 2.

BÔAS, Newton Villas; DOCA, Ricardo Helou; BISCUOLA, Gualter José. **Tópicos de Física, 2: termologia, ondulatória e óptica**. 18. ed. reform. e ampl. São Paulo: Saraiva, 2007.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. O ensino de Ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. In: _____. (Org.). **Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2016. p. 1-20.

CLEMENT, Luiz. **Autodeterminação e ensino por investigação: construindo elementos para promoção da autonomia em aulas de física**. 2013. 334 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

_____. **Resolução de problemas e o ensino de procedimentos e atitudes em aulas de física**. 2004. 149 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

COLL, César; VALLS, Eric. A aprendizagem e o ensino de procedimentos. In: COLL, César et al. **Os conteúdos na reforma: ensino e aprendizagem de conceitos, procedimentos e atitudes**. Porto Alegre: Artes Médicas, 2000.

GARCÍA, J. Eduardo; GARCÍA, Francisco F. **Aprender investigando: una proposta metodológica basada em la investigación**. 7. ed. Sevilla/ES: Díada Editora, 2000. 93 p. (Série Práctica, n. 2. Colección Investigación e Enseñanza).

HIRTH, Michael; KUHN; Jochen; MÜLLER, Andreas. Measurement of sound velocity made easy using harmonic resonant frequencies with everyday mobile technology. **The Physics Teacher**, v. 53, p. 120-121, fev. 2015.

ONLINE Tone Generator – Free, Simple and Easy to Use. Disponível em: <<http://onlinetonegenerator.com/>>. Acesso em: 08 mar. 2018.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Inquiry and the National Science Education Standards: a guide for teaching and learning**. 10th Printing. Washington, DC: National Academy Press, 2008.

SANT'ANNA, Blaid et al. **Conexões com a Física**. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2013.

SOUZA, Anderson Ribeiro de. **Experimento em ondas mecânicas**. 2011. 144 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

WHITE, Harvey E.; WHITE, Donald H. **Physics and Music: The Science of Musical Sound**. Mineola: Dover Publications, 2014.

ZOMPERO, Andreia de Freitas; LABURÚ, Carlos Eduardo. **Atividades investigativas para as aulas de ciências**: um diálogo com a teoria da aprendizagem significativa. 1. ed. Curitiba: Appris, 2016.