

Apêndice A: Produto Educacional

1. INTRODUÇÃO

No decorrer das últimas décadas, a importância da contextualização sociocultural de temas ministrados em sala de aula passou a ter um conteúdo paradigmático e assim compreender e aplicar se torna necessário na aprendizagem do estudante. Criar um elo entre os conceitos vistos em sala de aula e sua aplicação no cotidiano do estudante através de uma situação específica é tema de amplos debates (ZANETIC, 2006; Freire, 2014, 2015). Esse tipo de educação promove a independência do estudante, quanto a sua aprendizagem, e o torna responsável em parte pelo menos pelo conhecimento que adquire. Em outras palavras, a educação dialógica, problematizadora e contextualizada leva o estudante à condição de um ser ativo e autônomo no processo dos seus estudos e aquisição de conhecimento (Freire, 2015).

Em geral, se reconhece que promover um tema que relacione o conteúdo de sala de aula com o cotidiano torna a aprendizagem, de qualquer assunto, mais atraente e estimulante ao estudante (COELHO e POLITO, 2016; GRILLO, 2016; BARROS e ZANELLA, 2013; PEREIRA, 2013; AMORIM et al, 2012; GOTO, 2009; ZANETIC, 2006;). E em específico, a física, a ciência do movimento, a essa condição não escapa, e, portanto, não pode ser uma disciplina, somente, de sala de aula com equações abstratas e sem ligação com a vida fora da escola.

Aqui, tendo esta perspectiva de ensino e aprendizagem em mente, propomos o uso da música como tema de ligação entre teoria, física e cotidiano, levando em conta uma interação interdisciplinar com a arte (COELHO e POLITO, 2016; GRILLO, 2016; BARROS e ZANELLA, 2013; PEREIRA, 2013; AMORIM et al, 2012; GOTO, 2009; ZANETIC, 2006;).

A música está ligada a cultura e tradições desde os primórdios da humanidade, quase como uma linguagem universal, a qual, muitas vezes, não se conhece a língua que foi escrita, mas, pela melodia, conseguimos ouvir e despertar sentimento e emoções. Ela se encontra nas festas religiosas, teatros, em *shows* e nesse contexto também chamou a atenção dos filósofos, cientistas e matemáticos fazendo parte do contexto científico (GRILLO, 2016).

Segundo Grillo (2016), a música sempre teve destaque na ciência, mas a sofisticação matemática, aplicada em seus conceitos, teve um avanço no século XV devido a uma mudança epistemológica, oriunda da experimentação e modelos matemáticos. A acústica não se originou com o estudo das ondas, mas, sim, com o estudo da música. A ciência das ondas sonoras teve seu avanço com a teoria ondulatória de Huygens (1629-1686), (GRILLO, 2016).

As melodias são compostas por conceitos matemáticos e físicos, os quais não são observados ao apreciar uma música, mas a beleza da música ocorre por causa da harmonia de suas variadas notas musicais, que nada mais são do que frequências sonoras divididas em intervalos acústicos propagados por ondas sonoras (GRILLO, 2016, CATELLI e MUSSATTO, 2014; AMORIM et al, 2012). Essas ondas sonoras são emitidas e propagadas por instrumentos musicais que proporcionam diversos tons e intensidade sonora. Os instrumentos musicais são construídos baseado numa engenharia matemática, nem sempre sofisticada, mas bem elaborada, com o propósito de agradar os ouvidos mais aguçados.

Construímos, então, uma sequência didática onde o professor orientará os estudantes a confeccionar instrumentos musicais, para utilizá-los em uma banda musical. Nesse contexto, os estudantes devem pesquisar, demonstrar e aplicar os conceitos de física e arte, que certamente extrapolarão a estrutura fechada da sala de aula. Um outro aspecto que decorre em paralelo no processo é a sociabilidade adquirida pelo trabalho em conjunto e, também, problemas de natureza social, pois para a viabilização do projeto a criatividade com material de baixo custo deve ser explorada ao máximo, o que aponta para a reflexão de problemas de natureza ambiental, como a reciclagem de material descartável.

O professor desempenha um papel relevante nessa proposta, mesmo tendo o estudante como foco principal. Ele conduz o estudante a perceber que o conhecimento não é algo estático e fracionado, mas, sim, uma junção entre sua vida dentro da escola e fora dela, onde, na visão de Paulo Freire, deve haver uma colaboração, uma união e uma organização dentro de um contexto social (FREIRE, 2015). Nesse caso o estudante não pode ser visto como um recipiente vazio, onde se deposita conhecimento, pelo contrário,

ele é um elemento ativo no processo de conhecimento cultural e pedagógico, onde, esse deve ocorrer de forma dialógica, proporcionando uma práxis educativa (FREIRE, 2015)

Os estudantes que tem a oportunidade de vivenciar estas experiências conseguem atingir uma qualidade de aprendizado significativa o que pode ser demonstrada através de avaliações, debates e testemunhos dos próprios (Estes resultados foram analisados na dissertação, na qual este texto é o produto didático.).

Especificamente, o objetivo principal aqui é tratar, nessa perspectiva dialógica, elementos de acústica e ondas, conduzindo o estudante a aplicar, analisar e avaliar, através desta proposta, conceitos como frequência, timbre e intensidade sonora. Esses conceitos são, então, associados com a música: um produto cultural que permeia as relações sociais dos jovens estudantes (FREIRE, 2015).

O professor, nesse modelo didático, passa a ser um orientador e mediador entre a experiência social que os estudantes vivenciam e os conteúdos físicos que serão ministrados. É importante ressaltar que este projeto foi aplicado no contraturno. Desse modo, no horário regular de aula o conteúdo é ministrado normalmente, mas com um diferencial: a aula fica mais rica e proveitosa, uma vez que os estudantes demonstram mais interesse e participação citando exemplos, apresentando questionamentos e mostrando aplicação dos conceitos acústicos, estes vistos e aplicados no projeto.

Este projeto foi aplicado as turmas da segunda série do ensino médio em uma escola privada do Distrito Federal, as quais eram compostas, em média, de 46 estudantes por sala. Os mesmos tiveram a oportunidade de montar uma banda musical, utilizando os instrumentos musicais confeccionados. Esses instrumentos foram, em boa parte, elaborados a partir de materiais recicláveis, o que suscitou discussões sobre cultura e meio ambiente, além de viabilizar economicamente o projeto. Integrando o desenho das atividades propostas com aquelas associadas aos dos professores de música, os estudantes tiveram, como tarefa adicional, que compor uma música autoral e registrá-la na escrita de cifras musicais.

Ao todo foram seis encontros, sendo que no último ocorreu uma apresentação final do projeto. Essa apresentação teve dois momentos, o primeiro foi um seminário envolvendo a parte teórica. Nesse caso, os estudantes apresentam gráficos e tabelas com

valores obtidos de frequência sonora, intensidade sonora entre outros, assim como curiosidade em relação ao instrumento e sua historicidade. Em um segundo momento, os estudantes apresentam os instrumentos musicais, finalizados, e a música tocando na banda musical que envolve todo o grupo.

Em todos os encontros os estudantes são avaliados, e isso ocorre através da discussão entre professor e aluno. Muitos dos estudantes confeccionaram os instrumentos em casa e, para serem avaliados, levavam parte dos instrumentos para mostrarem a evolução do projeto, nos encontros propostos.

2. A PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Propomos que seja dividido em seis encontros/aulas, nossos encontros eram no contraturno, assim usávamos 4 horas aulas para trabalhar com os estudantes. Eram cinco turmas com 1 (uma) hora aula para cada uma, em média. Esses encontros eram realizados nas quintas feiras a tarde. Os grupos, previamente divididos, eram de 6 a 8 estudantes.

A proposta ficou assim dividida:

- 1º encontro: Objetivos e métodos: Apresentação da proposta ao estudantes e orientação do projeto através de conceitos de arte e física.
- 2º encontro: Materiais e procedimentos: Orientação e avaliação das ideias dos estudantes.
- 3º encontro: Qualidades Fisiológica do som: Aula expositiva com tabelas, gráficos e aplicativos. Orientação e avaliação da confecção dos instrumentos.
- 4º encontro: Instrumentos Musicais: Orientação e avaliação da confecção dos instrumentos.
- 5º encontro: Apresentação – 1ª Parte: Orientação e avaliação da confecção dos instrumentos.
- 6º encontro: Apresentação – 2ª Parte: Apresentação do seminário e da banda musical.

Falaremos de termos e conceitos, que muitas vezes, não são do cotidiano de um professor de física por isso colocamos, no tópico 6, alguns textos de apoio ao professor.

Nessa proposta abordaremos os grupos de instrumentos usados em uma orquestra, que são chamados de Nipes e assim classificados: cordofones, idiofones, membranofone e aerofones. No texto de apoio ao professor abordamos os Nipes de forma simples e usamos como exemplos os instrumentos confeccionados pelos estudantes.

Também adicionamos uma demonstração matemática, nos textos de apoio, usando as equações físicas da acústica, de afinação de instrumentos musicais de corda, os cordofones. Uma forma matemática de demonstrar conceitos físicos, onde o professor poderá interagir com os estudantes usando algum instrumento musical de corda, de forma prática, e a equação matemática, como parte teórica.

O professor nessa proposta é um orientador, dessa forma, os estudantes têm que pesquisar e confeccionar os instrumentos de forma independente, porém o professor deve orienta-los, nesse princípio disponibilizamos algumas bibliografias que podem ajudar o professor.

2.1. Primeiro encontro: objetivos e métodos

Nesta aula, se possível, recomendamos um espaço maior, que comporte ao menos duas turmas, por ser mais teórico, juntamos duas turmas e explicamos, em duas horas aulas, a proposta do trabalho. Neste mesmo momento, aproveitamos para explicar alguns conceitos de física e arte aplicada na música.

Nesta apresentação usamos um *data show* e uma apresentação em *slides*, simples, para apresentar os tópicos aos estudantes. Em seguida colocamos a sequência de tópicos apresentada no primeiro encontro e explicamos, de forma sucinta, o que fizemos após cada tópico.

TÓPICO 10. Instrumentos musicais

Neste momento, sugerimos, a explicação dos 4 Nipes (cordofones, aerofones, ideofones e membranofones) que serão confeccionados nesta proposta, assim, segue orientações nos textos de apoio ao professor. Após esta explicação tem-se a formação dos grupos para o trabalho, optamos em ceder alguns minutos da apresentação para essa escolha.

Na confecção dos instrumentos, o professor deve deixar claro, para o estudante, que eles podem construir mais de um instrumento, porém tem que ter um, pelo menos, de cada Nipe. Nesta apresentação o professor, como motivação, pode usar um vídeo da Orquestra Landfill Harmonic², uma orquestra do Paraguai, onde os jovens músicos tocam instrumentos criados a partir de lixo. Vale a pena falar dessa orquestra e mostrar como

² Site oficial da Orquestra Landfill Harmonic: <http://www.landfillharmonicmovie.com/>, nesse site encontra-se toda a historia da orquestra além de vídeos oficiais da orquestra.

eles superaram a situação de miséria tocando música a partir de instrumentos musicais confeccionados a partir do lixo.

Logo abaixo segue algumas imagens de instrumentos produzidos e usados na Orquestra Landfill Harmonic. No site oficial pode encontrar mais imagens de instrumentos e toda a história dessa orquestra.

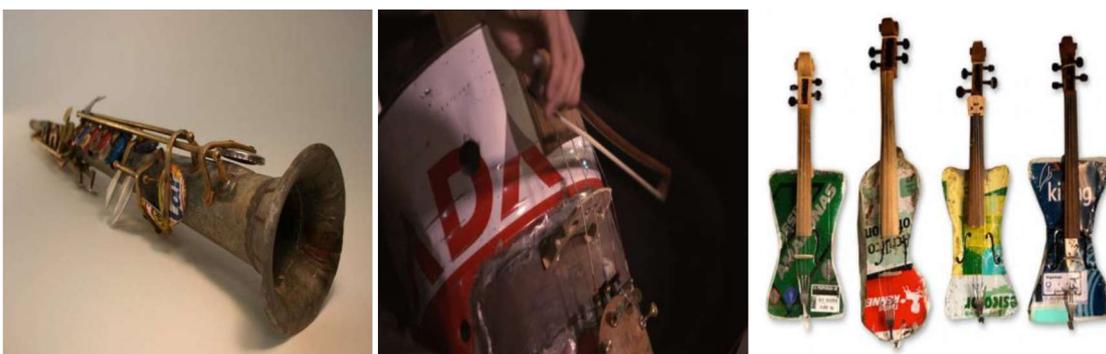


Figura 63: Instrumentos confeccionados pela Orquestra Landfill Harmonic

TÓPICO 11. Materiais para a produção dos instrumentos.

Explicamos para os estudantes os tipos de materiais que eles devem utilizar, os renováveis e reciclados, porém deixamos aberto o uso de materiais industriais de cunho técnico, pois tem instrumento que exigem materiais com especificidades técnicas que não são fáceis de encontrar, assim esses eles poderiam comprar. Recomendamos uma breve discussão sobre materiais recicláveis e o meio ambiente, onde, essa discussão, pode ser estendida para os próximos encontros.

TÓPICO 12. Origem de cada instrumento

Sugerir ao estudante pesquisar e apresentar sobre a história de cada instrumento musical, por eles confeccionados, onde e como surgiu esses instrumentos, curiosidade, processos de produção e etc.

TÓPICO 13. Produção dos instrumentos.

Essa é uma parte importante, pois sugerimos que os estudantes sejam avaliados em todos os encontros, por tanto, precisa ficar claro que eles precisam mostrar todo o processo de produção dos instrumentos.

Os estudantes poderão confeccionar os instrumentos nos encontros, mas a maioria produz em casa, assim, recomendamos, que a avaliação seja feita com relatos e discussões. Para isso eles devem levar parte dos instrumentos, se possível, para essa discussão. Não sendo viável o grupo levar parte do instrumento eles podem levar vídeos ou fotos do processo de construção, pois é no processo de confecção e produção do projeto que o professor vai orientá-los. Nessa orientação o professor pode sugerir mudanças e/ou mecanismos para eles poderem afinar o instrumento entre outros problemas que possam surgir.

TÓPICO 14. Dados físicos

Sugerir ao grupo colocar e explicar a metodologia usada, na construção dos instrumentos musicais, na apresentação final do projeto. Explicando e relatando as escolhas de materiais, como tipo de caixa acústica, método de afinação entre outros. Alguns dados não são opcionais devem fazer parte do processo e do seminário, como as frequências atingidas pelos instrumentos e as intensidades sonoras relacionando-as com distância.

Recomendar aos estudantes o uso de frequencímetro e decibelímetro para coleta dos dados físicos. Esses instrumentos, a maioria, são gratuitos e, facilmente, encontrados em lojas virtuais de aplicativos de *smartphones*. O professor deve orientar os estudantes a pesquisar esses aplicativos, caso eles tenham dificuldade na pesquisa ou no uso, o professor pode orientar.

Esses aplicativos são fáceis de usar e não tivemos problemas nessa parte, porém uma dificuldade que pode ocorrer é nas coletas dos dados da intensidade sonora, em instrumentos de corda e sopro. Recomendamos nos instrumentos de corda usar, somente, uma corda, dedilhando-a isoladamente. Nos instrumentos de sopro pressionar todos os furos mantendo apenas 1 e analisar apenas este.

TÓPICO 15. Gráficos e tabelas

Os estudantes têm que usar gráficos e tabelas para apresentar os dados coletados. Esse tópico é ministrado no 3º encontro, onde o professor vai sugerir formas de coletas de dados e processos de análises. Usamos para fazer os gráficos o *Excel* do *Windows*, porém alguns aplicativos geram gráficos automático, e, até mesmo, o formato das ondas.

TÓPICO 16. Apresentação da banda.

Na apresentação final os estudantes devem compor uma música, de tema livre, desde que não ofenda ninguém, e, esta, deve ser apresentada com todos os componentes do grupo, onde, para a harmonia, devem usar os instrumentos musicais produzido por eles.

Sugerimos pouco rigor na análise desse momento, no quesito harmonia e afinação, pois nem todos os estudantes tem conhecimento musical. Sugerimos, também, que o professor autorize o uso de instrumentos musicais próprios para estudantes que já fazem uso desses, pois ajuda na harmonia da apresentação, porém, os instrumentos próprios, não podem se sobrepor em relação aos instrumentos confeccionados

TÓPICO 17. Seminário

No sexto encontro, o grupo deverá preparar uma apresentação com slides e com o produto final, onde esses serão apresentado e demonstrado para os professores. Será avaliado a criatividade, processo de produção, tabelas, gráficos e os dados extras que os estudantes colocarem. Lembrando que esta avaliação não é o fim, mas parte de um processo, pois a proposta é avaliar de forma qualitativa os estudantes em todos os encontros.

TÓPICO 18. Apresentação na noite do destaque

A noite do destaque é um grande evento da escola, onde, na presença da comunidade escolar, homenageamos professores e estudantes. De forma lúdica, a escola apresenta todos os projetos desenvolvidos no decorrer do ano letivo. Essa apresentação ocorre no modelo de programa de auditório com uma apresentadora, normalmente a supervisora escolar, e uma banda musical. Essas bandas musicais são formadas de alunos da escolas e/ou ex alunos que já tem banda musical. Nesse momento também colocamos algumas bandas musicais do projeto Banda Musical Sustentável para apresentar. Escolhemos as bandas que se destacaram em harmonia e afinação.

Sugerimos ao professor escolher um momento, diferente do momento avaliativo, para apresentação de algumas bandas musicais do projeto. Não precisa ser um evento da

escola, pode ser um intervalo cultural por exemplo. Essa é uma forma de apresenta o projeto para os outros estudantes, mostrando que eles poderão ter a mesma oportunidade, isso leva a uma competição sadia e natural nos processos de produção das bandas.

2.2. Segundo encontro: materiais e procedimentos

No primeiro encontro foi discutido a proposta, objetivos do projeto, conceitos e tipos de instrumentos musicais. Nesse segundo encontro é proposto um debate com os estudantes sobre os materiais e procedimentos para a produção de cada instrumento. Aqui é importante questioná-los da importância dos materiais recicláveis, haverá instrumentos musicais que precisarão de componentes que não são recicláveis, componentes técnicos e específicos, não há problema em usa-los.

Dialogar com os estudantes a importância de reciclar, assim questioná-los se eles sabem a diferença entre lixo orgânico e seco, incentivar um debate entre eles, e, após um tempo determinado, pedir para eles relatarem a discussão na turma. É importante que tenha um desfecho esse debate com a conclusão do que foi debatido, incentivando os estudantes a levarem essa discussão para suas famílias.

Os instrumentos devem ser confeccionados no laboratório, se possível, para que o professor possa avaliar a participação dos estudantes. Não sendo viável, a produção dos instrumentos na escola, eles podem confeccionar em casa, neste caso o grupo deverá comprovar com relatos, fotos e/ou vídeos a produção e participação deles no projeto, trazendo, assim, parte do instrumento produzido.

Nesse momento os grupos já estão formados e deverão trazer a pesquisa da música, dos materiais que poderão ser utilizados, dos instrumentos e dos procedimentos de confecção. Pode ocorrer de grupo que não tenha feito nada, nesse instante o professor de orientá-los da importância de uma boa pesquisa e a interação com os outros grupos, tentando direcioná-los para a solução da proposta.

Este encontro será realizado com cada grupo individualmente, então é importante se atentar ao tempo, programando um tempo específico para cada grupo. Apesar da importância do diálogo, este deve ser bem planejado com foco no programa, a fim de que grupos não sejam prejudicados.

Os dados, colhidos pelo professor, farão parte do 3º encontro, o qual será ministrado uma aula, explicando os aspectos físicos da música, através dos instrumentos, a importância dos gráficos e tabelas para apresentação dos dados coletados e a importância dos aplicativos para coleta de dados e para demonstrar os dados físicos.

2.3. Terceiro encontro: qualidades fisiológicas do som

Este encontro será expositivo, onde o professor irá explicar conceitos sobre a qualidade fisiológica do som, frequência, timbre, nível de intensidade sonora e orientação da forma da apresentação, tentando direcioná-los para apresentação final. É importante ressaltar que essa aula está sendo ministrada após as pesquisas dos estudantes e o debate dos encontros anteriores, então ela reforça os aspectos principais já abordados, porém direcionados para a música e instrumentos musicais.

Recomenda-se pedir aos grupos que já tenham finalizado algum instrumento traze-lo nesse encontro para orientações sobre aplicativos e forma de coleta de dados. Pode ser usado um instrumento comercial, caso não consiga um produzido pelos alunos. Importante ressaltar que aplicativos podem gerar várias frequências, assim, pegar a frequência de maior pico.

Não tem um começo específico para este encontro, mas, nessa proposta dialógica, é conveniente que comesse a aula com questionamentos que estimule a participação dos estudantes e, através destes, discorra o conteúdo propriamente dito.

Um ponto forte a discutir é a diferença entre altura sonora e intensidade sonora, pois os estudantes costumam usar termos do cotidiano, como som alto para som forte. Definindo frequência como a vibração do som, ou seja, é a informação transmitida pelos instrumentos musicais, a junção dessas podem gerar as melodias, que são sons agradáveis a nossa percepção acústica, também são as notas musicais.

Destacar que a intensidade sonora está relacionada com o volume do instrumento, fisicamente está relacionado com a amplitude da onda, espera-se que os estudantes relatem esses fenômenos e grandezas na apresentação e discussões.

Os estudantes devem estar como aplicativos instalado, nesse encontro, para as demonstrações. Nesse instante o professor pode coletar os dados de algum instrumento e

gerar um gráfico e/ou tabela com o Excel, mostrando passo a passo a confecção de gráficos e tabelas. Assim finaliza esse encontro.

2.4. Quarto encontro: instrumentos musicais

O quarto encontro é destinado para apresentação dos instrumentos musicais em fase de acabamento. Nesse encontro reforçar o uso e orientação sobre as ferramentas (aplicativos para celular) que deverão ser utilizados na análise de frequência e intensidade sonora. Tirando dúvidas quanto a confecção de gráficos e tabelas se for o caso.

Quanto a coleta de dados, como o nível de intensidade sonora e frequência, é aconselhável que os estudantes se direcionem para um ambiente silencioso, medindo o nível de intensidade sonora máximo para cada instrumento, separadamente, em dB (decibel). Para a análise da intensidade sonora, pode-se orientar os estudantes a obter em distâncias diferentes, como 1 m, 2 m, 4 m e 8 m do instrumento, analisando a influência da distância com a intensidade do som e orientando-os a demonstrar esse efeito através de um gráfico da intensidade sonora em função da distância.

Posteriormente, orientar os estudantes a escolher uma das distâncias, a qual, deverá ser apresentada uma relação matemática que permita calcular a “soma” do nível de intensidade sonora com todos os quatro instrumentos juntos e fazer uma comparação como abordagem teórica.

2.5. Quinto encontro: apresentação – 1ª parte

Nesse encontro ocorre a apresentação dos instrumentos e trabalho teórico contendo toda a análise de ondas (frequências atingidas pelos instrumentos, tipo de ondas formadas, qualidades fisiológicas do som produzido, análise da intensidade sonora), a análise artística e um breve relato histórico sobre a origem do instrumento confeccionado e sua evolução como instrumento musical até os dias atuais.

Orientar os estudantes, desde o primeiro encontro, a pesquisar e mostrar esses dados fazendo com que essas informações estejam na apresentação final, pois nesse encontro serão feitos ajustes finos nos instrumentos e apresentação caso precise.

2.6. Sexto encontro: apresentação – 2ª parte

No seminário tem dois momentos onde, o primeiro momento os estudantes vão explicar a parte teórica, onde contarão todos os dados coletados com gráficos e tabelas, e o segundo momento o da banda musical, onde apresentarão a música com os instrumentos em funcionamento.

No primeiro momento os estudantes vão apresentar a parte teórica através de um seminário usando para isso um computador e um *data show*. Nesta apresentação, constarão os processos físicos, matemáticos, artísticos envolvidos na confecção (frequências atingidas pelos instrumentos, tipo de ondas formadas, qualidades fisiológicas do som produzido, análise da intensidade sonora, tipo de caixa de ressonância para amplificação, diferença entre os materiais, potência sonora e outros que acharem necessário).

Na apresentação da banda os estudantes vão cantar a música e tocar os instrumentos, nesse momento os estudantes podem usar instrumentos comerciais para auxiliar na harmonia caso seja necessário.

3. APRESENTAÇÃO PARA A COMUNIDADE ESCOLAR

Esse momento não é um momento obrigatório ou de avaliação, mas, sim, um momento lúdico, onde o grupo poderá apresentar sua banda musical, em algum evento da escola o que seria, para os estudantes, a culminância do projeto. É uma forma de propagar o trabalho para a escola e aos estudantes das séries anteriores.

Em nossa escola tem um encontro, no final do ano, denominado: Noite dos destaques. Esse momento é apresentado todos os projetos da escola e homenageado os estudantes e professores que se destacaram no decorrer do ano em seus projetos. Essa apresentação é feita nos moldes da premiação do Oscar e tem vários momentos de intervalos. São nesses momentos que tocam uma banda musical. Nós aproveitamos para inserir os grupos que se destacaram no projeto da banda musical e eles tocam usando os instrumentos que eles confeccionaram.

4. REDAÇÃO: UMA PROPOSTA DE AVALIAÇÃO

Elaboramos um questionário objetivo para avaliar o desenvolvimento dos estudantes, com respeito a qualidade fisiológica do som, apesar dos estudantes terem ido muito bem neste questionário, queríamos uma avaliação em que o estudante fosse mais livre em suas expressões, não tendo influência por parte do professor de física.

Nesse sentido, procuramos a professora de redação e propusemos um tema para que ela pudesse avaliar os estudantes, sem que eles percebessem que tivesse ligação direta com a física. É importante ressaltar que nenhum momento falamos para os estudantes sobre essa redação, ou seja, para eles era uma redação comum da professora de redação.

O tema abordado foi poluição sonora nas cidades, usamos um texto motivador, modificado para o contexto pedagógico, com título: Poluição sonora: como ela afeta o nosso dia a dia e o meio ambiente? Esse texto segue no apêndice. Dessa forma os estudantes poderiam demonstrar conceitos adquiridos com o nosso projeto, de forma ampla, ligado ao seu contexto social.

Essa é uma sugestão para os professores que trabalhem essa proposta de forma qualitativa. Acreditamos que a ela foi importante, pois encontramos vários elementos que demonstraram a aprendizagem pelo estudante, através do usos de conceitos e formas corretas de unidades, que não são usualmente comuns.

5. TEXTOS DE APOIOS

O professor pode se basear em alguns trabalhos já realizados com esse enfoque, como o do Amorim et al, 2012, onde ele confecciona um instrumento de sopro, o qual chamou de tubofone. Esse instrumento foi confeccionado usando canos de PVC e ferramentas básicas, possíveis de se encontrar nas casas dos estudantes. Para desenvolver a proposta ele usou conhecimento básico de física acústica, iniciados através de uma flauta doce.

No ensino de acústica e possível analisar conceitos sobre instrumentos de corda e sopro, suas frequências básicas e afinações o que é demonstrado no trabalho do Catelli e Mussatto, 2014, onde eles mostram, através de matemática básica, as frequências naturais de uma corda de instrumento musical usando apenas os parâmetros geométricos e físicos das cordas.

Aqui abordamos dois textos de apoio ao professor onde um demonstra os conceitos de naipes e o outro uma matemática básica de afinação de instrumentos musicais de cordas. Na bibliografia encontra-se mais trabalhos relacionados a confecção de instrumentos, ao qual, o professor pode encontrar facilmente na internet e ler como apoio.

5.1 Naipes: grupos de instrumentos de uma orquestra.

Na maioria dos livros de física os instrumentos musicais são divididos em três grupos que são os de corda, os de sopro e de percussão, porém, em uma orquestra, a divisão desses grupos recebe o nome de Nipes e são divididos em 4 categorias: cordofones, idiofones, membranofones e aerofones. Faremos, em seguida, um breve comentário de cada e usando como exemplos instrumentos produzidos por nossos estudantes.

CORDOFONES

Os cordofones são instrumentos do grupo de cordas, ou seja, usam cordas para emitir som. A frequência emitida por suas cordas depende da tensão na corda, do comprimento da corda, da densidade da corda e do material de que é feita a corda. Essas cordas são tensionadas e presas, normalmente, em uma haste de madeira, que por sua vez

são ligadas a uma caixa de ressonância acústica. Quando as cordas são friccionadas e/ou dedilhadas, essas emitem uma vibração que é ressoada pela caixa de ressonância.

Na imagem abaixo segue alguns instrumentos de corda produzidos pelos estudantes.



Figura 64: instrumentos de corda fabricados pelos estudantes

O primeiro instrumento é um violão, ele foi fabricado usando partes de um violão quebrado, nesse caso a haste, e uma lata de solvente, usada para caixa de ressonância. Os estudantes recuperaram a haste do violão e suas tarraxas. Afixaram a haste na lata, em seu interior introduziram uma madeira de suporte, para a lata não amassar com a tensão das cordas.

O segundo instrumento é um baixo. Os estudantes usaram como haste um pedaço de madeira, o qual eles talharam de forma a ficar semelhante a uma haste oficial de baixo. Como caixa de ressonância usaram um galão de água mineral, fizeram uma abertura na frente do galão e na boca encaixaram a haste até o fundo do galão. As cordas são de aço e foram tensionadas com tarraxas apropriadas para baixo.

O terceiro instrumento é um violão de quatro cordas. A haste é de madeira rústica não trabalhada, as cordas são de nylon que foram tensionadas com tarraxas de violão comum. A caixa de ressonância é uma lata de leite em pó.

Muitos dos instrumentos musicais exigiram, para sua produção, peças muito específicas, por isso que os instrumentos não são feitos 100 % de materiais recicláveis.

Aqui os estudantes usaram partes de instrumentos quebrados fazendo reaproveitamento de materiais, porém as peças que eles não encontravam, essas, tiveram que comprar.

Uma sugestão seria pedir para os estudantes tabularem os custos gastos no projeto, pesquisando e calculando os impostos pagos sobre os equipamentos comprados. Proporcionando uma reflexão crítica sobre os impostos pagos e o que eles têm de retorno. Essa ideia pode ser trabalhada, interdisciplinar, com os professores de matemática, filosofia, sociologia e outros, promovendo habilidades e competências de forma ampla.

AEROFONES

Os aerofones são do grupo de instrumentos de sopro, ou seja, usam o próprio corpo para gerar o som, através da vibração de ar em seu interior. Os instrumentos pertencentes a esse grupo são as flautas, oboé, fagote, trompas, tuba, trombones, clarinetas, saxofone e trombetas. Segue dois exemplos, confeccionados pelos estudantes, na imagem abaixo.



Figura 65: Instrumentos de sopro confeccionados pelos estudantes

As duas primeiras imagens são de uma flauta de Pã, foram confeccionadas usando canos de PVC e os furos foram feitos com furadeira. Essa flauta é de tubo fechado, assim os estudantes usaram rolha de cortiça para fechar os tubos. As dimensões e distâncias dos furos eles pegaram, facilmente, na internet. No *youtube* tem vários vídeos que ensinam passo a passo a produção de flautas horizontais, flautas doce, flautas de pão entre outras.

O segundo instrumento é um saxofone de PVC. Usando canos de PVC e um auxílio de seu professor de música, a estudantes produziu um saxofone. Nesse caso ela

pegou uma ideia de vídeos no *youtube*. A maioria desses instrumentos eles conseguiram construir usando manuais em vídeos do *youtube*. O professor pode orientar melhor o aluno nessa pesquisa. Em alguns casos o professor precisará de auxílio de um especialista, nesse caso um professor de música ou alguém que tenha esse conhecimento.

IDIOFONE

No grupo de percussão tem dois nipes os Idiofones e Membranofones. Os Idiofones são instrumentos que produzem som com a vibração do seu corpo, são eles: os xilofones, triângulo, pratos, Cajon, Guiro e etc. Na imagem a seguir mostramos alguns idiofones produzido pelos estudantes.



Figura 66: Instrumentos idiofônicos confeccionados pelos estudantes

O primeiro instrumento é um Cajon, é um instrumento de percussão, foi fabricado usando madeiras usadas de móveis planejados. No seu interior tem amarras de arame para emitir o som, são encontradas em lojas de instrumentos musicais. Esse instrumento foi fabricado com a ajuda dos pais dos estudantes, pois envolveu ferramentas específicas. Na dissertação, onde tem esse texto como produto, mostramos a construção completa deste Cajon.

O segundo instrumento é um guiro, é um instrumento que deve ser friccionado para emitir o som. Foi confeccionado com canos enrugado de resto de obra, de forma simples foi colado em um papelão e usaram palitos de madeiras para friccionar.

O terceiro instrumento é um xilofone de garrafa de vidro. Os estudantes afinaram esse xilofone com água em seu interior. As garrafas foram fixadas em uma pedra de granito e cada garrafa foi registrado a nota que emitia.

MEMBRANOFONE

Os Membranofones são instrumentos musicais de percussão que usam uma membrana presa e esticada em seu corpo, são eles: tambor, pandeiro, tumba, cajá, bogo etc. As membranas usadas nos membranofones, conforme as figuras 4, podem ser de couro, plástico, vinil, fita adesiva entre outros. Ao ser vibrada ela gera uma frequência ressoando no corpo do instrumento que também é uma caixa de ressonância.

Segue algumas imagens de membranofones confeccionados pelos estudantes.



Figura 67: Instrumentos confeccionados pelos estudantes

De forma geral esse instrumento é bem simples de ser confeccionado, basta ter um balde e um tipo de membrana. No primeiro instrumento da imagem 4 tem uma membrana de vinil presa a um balde. No segundo e terceiro instrumentos usaram um balde e fita adesiva. Orientar os estudantes a forma correta de usar a fita, recomendamos o uso em cruz, sempre fazendo uma cruz para da resistência ao balde.

5.2 Afinação de um cordofone.

No encontro 3, o professor pode discutir a afinação dos cordofones, pois envolve conceitos matemáticos que são fáceis de discutir no ensino médio. Usamos para produzir esse material os trabalhos do Catelli e Mussatto, 2014, eles demonstraram, matematicamente, a afinação de instrumento de corda e foi nessa demonstração que chegamos a esse texto. Usando as equações abordadas por eles direcionamos para essa proposta.

Esse momento pode ser iniciado com uma pergunta: como se afina um instrumento de corda? Os estudantes, provavelmente, responderão na prática a forma que eles afinam os instrumentos. Caso nenhum estudante responda pela primeira vez ou não tenham esse conhecimento o professor pode continuar perguntando de forma mais elaborada, para assim obter o conhecimento prévio dos estudantes.

Algumas perguntas que podem ser referidas aos estudantes:

- Com se afina um violão?
- As cordas de um violão têm a mesmas espessuras, se não, qual a diferença entre elas?
- Será que existe diferença entre corda de nylon e a de aço?
- Se deixar a corda levemente solta, ao dedilhar ela emitirá som?

O violão é um instrumento de corda bem conhecido dos nossos estudantes e da população em geral, não será difícil obter essas respostas dos estudantes, em seguida o professor pode justificar as respostas dos estudantes demonstrando uma equação matemática para afinação de instrumentos de corda.

Usando a equação de Taylor, da velocidade de uma onda em cordas

$$v = \sqrt{\frac{T}{\delta}}, \quad (1)$$

Onde, nessa equação, v é a velocidade da onda em uma corda, T é a tensão nas cordas e δ é a densidade de massa na corda. A densidade de massas da corda é uma

relação entre a massa e o volume da corda. Normalmente aparece nos livros de ensino médio com densidade linear da corda, pois os autores desprezam a espessura da corda em relação ao seu comprimento, porém aqui a espessura da corda, o que é visível nos instrumentos de corda, não pode ser desprezível, assim vamos considerar como densidade volumétrica a relação da massa pelo volume da corda, como a corda é um cilindro o volume vai ser a área da base vezes a altura, nesse caso a área é de uma circunferência, $\pi \cdot R^2$ e a altura vai ser o comprimento da corda.

A equação de números de harmônicos em uma corda

$$f = n \cdot \frac{v}{2L}, \quad (2)$$

onde, f é a frequência do som, n é o número de harmônicos, v é a velocidade das ondas em uma corda e L é o comprimento da corda. Considerando a corda como um cilindro, calcula-se o volume da corda com a equação de volume do cilindro, onde o produto da área da base do cilindro vezes a sua altura tem-se o volume.

Juntando as equações 1 e 2, sabendo que as velocidades são iguais, obtêm-se a equação da afinação de um instrumento de corda

$$f = \frac{n}{D \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{T}{\mu \cdot \pi}}, \quad (3)$$

onde, f é a frequência emitida pela a corda, n o número de harmônicos, D é o diâmetro da corda, L é o comprimento da corda, T a tensão nas cordas e μ a densidade de massa nas cordas.

Após a demonstração matemática, propõem-se a discussão das respostas dos estudantes, porém com uma visão matemática, discutindo-se com os estudantes as variáveis propostas por eles. Mantendo fixas algumas variáveis podemos mostrar a dependência delas através da equação, ficando assim:

- A frequência do som emitido é: inversamente proporcional ao diâmetro da corda, assim, se aumentarmos o diâmetro da corda diminuimos a frequência e diminuindo o diâmetro aumentamos a frequência.
- A frequência é inversamente proporcional ao comprimento da corda, assim, ao aumentar o comprimento da corda diminui a frequência e diminuindo o comprimento da corda aumentamos a frequência emitida pela corda
- A frequência é proporcional à raiz quadrada da tensão na corda, assim, ao aumentarmos a tensão na corda aumentamos a frequência e se diminuimos a tensão diminuimos a frequência.
- A frequência é inversamente proporcional a raiz quadrada da densidade do material de que é feita a corda, assim, se o material for mais denso menor a frequência e menos denso maior a frequência.

O retorno a discussão com os estudantes, agora, através das análises deles com a equação pode levar o estudante a uma criticidade com relação a matemática nas construções dos instrumentos musicais, o professor pode até ser mais abrangente questionar a importância da matemática na engenharia dos instrumentos musicais.

6. Referências Bibliográficas

AMORIM, R. G. G. et al. *Física e Música: Uma Proposta Interdisciplinar*. Revista Amazônica de Ensino de Ciências. v. 5. p. 101-112, 2012.

BARROS, M. D. M.; ZANELLA, P.G.; ARAÚJO-JORGE, T.C.. *A música pode ser uma estratégia para o ensino de Ciências Naturais? Analisando concepções de professores da educação básica*. Revista Ensaio. v. 15. n. 01. p. 81-94, 2013.

CATELLI, F.; MUSSATTO, G. A.. *As frequências naturais de uma corda de instrumento musical a partir de seus parâmetros geométricos e físicos*. Rev. Bra. Ens. Fís. (online). v. 36. p. 2304-1-2304-6, 2014.

COELHO, A. L. M. B.; POLITO, A. M. M.. *Proposta de sequência didática aplicando um monocórdio e o uso de elementos musicais perceptuais como estruturantes para o ensino de conceitos de física ondulatória*. Physicae Organum: Revista dos estudantes de física da universidade de Brasília. v. 2. p. 1-17, 2016.

FREIRE, P.. *Pedagogia do Oprimido*; 59ª ed. revisada e atual. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2015.

FREIRE, P.. *Pedagogia dos Sonhos Possíveis*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2014.

GRILLO, M. L. N. (Org.); PEREZ, L. R. (Org.). *Física e Música*. 1ª ed. v. 1, 120p.. São Paulo: Livraria da Física, 2016.

GOTO, M.. *Física e Música em Consonância*. Rev. Bras. Ens. Fis. v. 31. n. 2. p. 2307.1-2307.8, 2009.

GUEDES, A. G.. *Estudo de ondas estacionárias em uma corda com a utilização de um aplicativo gratuito para smartphones*. Rev. Bras. Ens. Fís. (online). V. 37. n.2. p. 2502-1-2502-5, 2015.

HÜMMELGEN, I. A.. *O clarinete: uma Introdução à Análise Física do Instrumento*. Cad. Cat. Ens. Fis. v.13. n.2. p.139-153, 1996.

ORQUESTRA LANDFILL HARMONIC, disponível em:

<http://www.landfillharmonicmovie.com/>. Acesso em 21 de jan. de 2018.

PEREIRA, R. M.. *Abordagem Ativa da Acústica no Ensino Médio com a Confeção de Artefatos Musicais pelos estudantes*. 84 p. Dissertação de Mestrado (MPEF), UFSCar. São Paulo, 2013.

ZANETIC, J.. *Física e Arte: uma ponte entre duas culturas*. Pro-Posições. v. 17. n. 1 (49). p. 39-57, 2006.