



.....
Marcio Pizzi de Oliveira^{1#} , Alberto da Silva Cid¹ 

¹Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Campus Valença, Valença, RJ, Brasil.
.....

Palavras-chave

ensino de ondas
interdisciplinaridade
música e tecnologia

Resumo

O ensino de física, especialmente de ondas mecânicas, enfrenta desafios relacionados às concepções prévias dos alunos sobre fenômenos cotidianos. Essas dificuldades exigem atenção dos docentes e a formulação de estratégias que favoreçam a aprendizagem de conceitos como frequência, período e comprimento de onda. No entanto, a superação desses obstáculos pode demandar abordagens mais concretas, integrando perspectivas da fisiologia e da música. Este trabalho relata a aplicação de uma sequência didática elaborada por um professor de física e um professor de artes, composta por duas aulas de 50 min. Na primeira aula, foram apresentados os conceitos básicos de ondas mecânicas, vibrações periódicas e relações entre frequência e período, seguidos de uma prática de canto utilizando o aplicativo Tuner Pitched. A segunda aula abordou o teorema de Fourier e a série harmônica, complementados pelo uso do software Audacity para análise sonora. A sequência didática apresentou efeitos positivos, promovendo maior engajamento dos alunos por meio da associação entre música e física, além de explorar a familiaridade dos estudantes com aplicativos de afinação utilizados no aprendizado de instrumentos musicais.

1. Introdução

Os alunos começam a aprender física com um sistema de crenças do senso comum baseadas em um conjunto de experiências pessoais [1]. Esse contexto pode motivá-los a produzir interpretações confusas dos fenômenos físicos e formulações que omitem aspectos fundamentais dos conceitos. Estudos sobre o assunto detalham as características desses

equívocos. A presença de vários modelos conceituais na mente dos alunos pode levá-los a interpretações que se distanciam da natureza dos fenômenos [2]. Os alunos podem explicar as ondas mecânicas utilizando descrições ingênuas [3]. Com a presença de ideias desestruturadas e desorganizadas, eles acabam desenvolvendo conceitos resultantes de argumentações caóticas. No caso específico do

O senso comum pode confundir o ensino de ondas e comprometer a compreensão da física, levando os alunos a explicar as ondas mecânicas utilizando descrições ingênuas

Autor de correspondência. E-mail: marcio@rumori.com.br

Este é um artigo de acesso livre sob licença Creative Commons



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Copyright © 2025, Copyright by Sociedade Brasileira de Física. Printed in Brazil.

ensino de ondas, os alunos podem pensar que, nos processos do fenômeno sonoro, a matéria se move na mesma direção da vibração [4], ou atribuir às ondas a propriedade de empurrar objetos na mesma direção em que se movem [5].

Os estudos sobre ondas permitem identificar alguns tipos de equívocos cometidos pelos alunos [2-5], além de evidenciar o potencial para o desenvolvimento de recursos didáticos no âmbito do ensino de física [6,7]. O uso de ondas mecânicas no contexto educacional brasileiro gerou pesquisas sobre atividades e práticas em sala de aula com dados empíricos. Três estudos desenvolveram práticas com ondas mecânicas em sala de aula utilizando esses métodos [8-10].

O uso da música no estudo de ondas tem se tornado mais frequente nas salas de aula, oferecendo meios concretos para a implementação de estratégias de ensino e aprendizagem. Os aspectos sonoros de instrumentos como o violino [11,12], o violão [13], o berimbau [14] ou mesmo instrumentos construídos com materiais reciclados [15] serviram para o desenvolvimento de estratégias no ensino de física. O estudo da síntese sonora de um tema de jazz [16] e até o uso de um texto de divulgação científica [17] demonstram a diversidade de caminhos disponíveis para a associação entre música e física no ensino.

O estudo das ondas mecânicas no contexto brasileiro pode ser beneficiado pelo uso de softwares e aplicativos. A combinação de aulas sobre ondas mecânicas com recursos tecnológicos apresenta efeitos positivos em diversas situações [18,19]. O presente estudo tem como objetivo desenvolver uma proposta didática voltada ao aprendizado de propriedades e exemplos de ondas mecânicas, por meio do uso do aplicativo Tuner Pitched e do software Audacity.

2. Softwares e aplicativos musicais no ensino

Foram identificadas iniciativas educacionais que se valeram da interdisciplinaridade entre música, ciência e matemática, com o auxílio de aplicativos e softwares. Três estudos promoveram práticas com softwares voltadas às interfaces entre o estudo de ondas e a trigonometria [20-22]. Coelho e Machado [23] desenvolveram um estudo com foco em softwares para explorar a modelização matemática.

O estudo de Coelho e Machado [23] conduziu à montagem de um móvel com tubos sonoros para a caracterização de sons e abordagem dos princípios físicos envolvidos nos fenômenos acústicos. Os alunos foram convidados a construir móveis e, posteriormente, empregar os softwares Guitar Tuner e Oscilloscope para compreender aspectos de afinação, comparando-os com instrumentos como o violão e o teclado. Segundo Coelho e Machado [23], a motivação criada pela associação da música com a ciência provoca e instiga

os alunos, promovendo um intercâmbio entre os saberes musicais e científicos. Os autores produzem reflexões pertinentes acerca da construção de formas de ensino mediadas por experiências explicitamente interdisciplinares, que podem fornecer uma visão mais globalizada dos fenômenos naturais.

No estudo de Quinn [24], os alunos foram convidados a gerar um som original constituído de pelo menos cinco tons puros e um tom complexo. O som

deveria durar no mínimo 10 segundos e ser reproduzível em um computador ou smartphone. Para cada tom puro, os alunos deveriam: [1] gerar uma explicação escrita de todos os parâmetros da onda senoidal, utilizando representação numérica exata; [2] for-

necer uma explicação verbal do som percebido, e [3] mostrar o gráfico de um período de cada tom. O tom complexo exigiu as mesmas representações escritas, verbais e pictóricas que os tons puros, juntamente com uma explicação escrita das frequências que geram o tom complexo. Em vez de empregarem apenas comparações para compreender os conceitos de período e frequência, os alunos associaram a aplicação de fórmulas e conceitos à manipulação sonora, flexibilizando a prática e dinamizando o uso do conhecimento procedimental [24].

Segundo Hall [25], o software Audacity apresenta oportunidades para que alunos sem afinidade com a produção musical possam ter uma experiência de criação musical. Da mesma forma, o fenômeno musical pode ser abordado sob a perspectiva da física, por meio de recursos como o reparo de ruídos e a utilização de ferramentas de espectro. Pérez [26] defende que, por ser um software aberto, o Audacity pode ser um instrumento importante para os professores, pois pode ser instalado em todo tipo de computador. Assim, verifica-se uma possibilidade ampla de criação de estratégias didáticas tanto para a educação musical quanto para o ensino de física.

O estudo de Pérez et al. [26] desenvolveu experiências com recursos tecnológicos de diferentes origens para gerar problematizações acerca dos fenômenos sonoros. Em primeiro lugar, utilizaram samplers para gravar o som de um violoncelo e criar outras notas a partir de variações de frequência proporcionadas pelo próprio dispositivo. A experiência mostrou que quanto maior a variação da frequência, menor a qualidade do som. Em um segundo momento, foram realizadas gravações de sons musicais e ruídos, com o objetivo de desenvolver uma distinção conceitual. Verificou-se que, no caso da nota musical, a função correspondente é periódica, enquanto no ruído é aperiódica. Por fim, utilizou-se o software Audacity para demonstrar as relações matemáticas que permeiam a construção de uma nota executada pelo violoncelo. Segundo Pérez e cols. [26], o uso do software permitiu mostrar, com riqueza

Tecnologia e som ampliam a possibilidade de aprendizagem com práticas criativas na educação musical e no ensino de física

de detalhes, diversos aspectos da relação entre a acústica e a matemática, que podem ampliar a visão dos alunos sobre o fenômeno sonoro.

O estudo de Hall [25] apresenta nove experiências de gravações com o uso do software Audacity para estudar mudanças de frequência. O estudo explora tanto variações amplas como variações muito sutis. A prática pode oferecer situações de aprendizado, devido à curiosidade gerada pelo uso de procedimentos de gravação e manipulação sonora. A infinidade de resultados possíveis decorrentes das edições sonoras instiga o caráter lúdico dos alunos, motivando a criação de conexões com o conteúdo da matemática [25].

3. A sequência didática

O presente artigo enfoca o uso do aplicativo Tuner Pitched e do software Audacity na realização de atividades vocais. Os recursos apresentados fazem parte de uma sequência didática nos moldes de Zabala [27], estabelecida em duas aulas sobre ondas sonoras para o Ensino Médio técnico de uma instituição pública situada no Estado do Rio de Janeiro, o CEFET-RJ, unidade Valença. Essa sequência é realizada há três anos por meio de uma colaboração entre o professor de física e o professor de artes. A intervenção ocorreu em duas aulas de 50 min. A Tabela 1 apresenta as etapas das duas aulas, assim como a descrição de cada uma, com a minutagem correspondente.

A primeira aula traz, como etapas iniciais, a transmissão dos conceitos preliminares de ondas mecânicas, passando para os aspectos específicos das ondas sonoras. O estudo das ondas sonoras apropria-se dos conceitos de frequência e amplitude para ampliar a compreensão acerca do fenômeno sonoro. A frequência refere-se ao número de ciclos efetuados em uma determinada unidade de tempo, enquanto a amplitude diz respeito à oscilação em torno da posição de equilíbrio [28]. No estudo da acústica musical, “a frequência é o

número de ciclos ou períodos da vibração que se completam dentro de um segundo” [29], enquanto a amplitude é “o tanto de alteração positiva quanto negativa da pressão atmosférica que corresponde às compressões e rarefações das moléculas de ar durante a vida do som” [29]. Nessa perspectiva, a unidade utilizada para o cálculo das frequências é o Hertz. No que tange à intensidade sonora, a representação é feita em decibéis.

As ondas sonoras são ondas mecânicas longitudinais, produzidas por meio de compressões e rarefações realizadas nas moléculas de ar, que desenvolvem movimentos vibratórios [28]. As vibrações periódicas são associadas à percepção das notas musicais e denominadas sons de altura definida. Na terminologia da música, os sons de altura definida receberam a denominação de sons compostos [29]. Para embasar o entendimento das vibrações periódicas, torna-se relevante iniciar com a onda sonora mais simples, chamada onda senoidal. Sua representação consiste na projeção do seno dessa onda no tempo, resultando em ondas absolutamente regulares. Seu movimento apresenta uma homogeneidade total em progressão contínua. Um ciclo dessa onda coincide com um giro completo de 360°. A Fig. 1 mostra a representação do fenômeno da onda senoidal com a comparação entre o período (T) e a rotação especificada acima.

Uma das relações importantes no estudo das ondas sonoras é a relação entre período e frequência. Enquanto a frequência é medida em Hertz, o período é medido normalmente em segundos. Essa relação expressa-se pelas seguintes equações:

$$f = \frac{1}{T} \text{ ou } T = \frac{1}{f}. \tag{1}$$

Menezes [29] defende, como prática mais apropriada, a utilização da unidade milissegundo para o cálculo do período (1/1000 de segundo, abreviado por ms). Para calcular a frequência, utiliza-se a duração de um perí-

Tabela 1: Etapas da sequência didática juntamente com as respectivas descrições.

Etapa	Descrição
Aula 1 - Conceitos iniciais	Ondas mecânicas, vibrações periódicas, ondas senoidais e relações entre frequência e período (10 min).
Frequência e amplitude	Fórmulas de frequência e amplitude, aplicações e exemplos (10 min).
O aplicativo Tuner Pitched	Os professores apresentam as funcionalidades do aplicativo (10 min).
Prática de canto	Realiza-se o ensaio de uma canção, procurando afinar corretamente com o uso do aplicativo Tuner Pitched (20 min).
Aula 2 - Parte teórica	Teorema de Fourier e série harmônica (10 min).
Experiências com o Audacity	Experiências com frequência e amplitude no <i>software</i> Audacity. Gravação do som senoidal dentro do <i>software</i> (10 min).
Gravando a voz do aluno	Um aluno é convidado a cantar a nota dó4. O som é comparado com o som senoidal. O professor debate com os alunos as diferenças entre os sons (20 min).
Análise de espectro	O professor realiza uma análise de espectro comparando o som senoidal com o som do aluno. O professor encaminha uma discussão sobre os resultados (10 min).

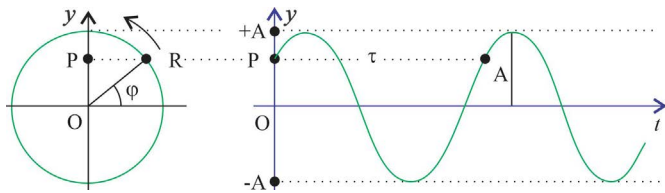


Figura 1 - Som senoidal. Fonte: Menezes [29].

odo. Se um período dura 12,8 ms, obtém-se a equação $f = 1000/12,8$. Trata-se, portanto, de uma onda cuja frequência corresponde a 78 Hz. No caso da frequência, podemos utilizar a frequência da nota lá. Considerando que a frequência da nota lá corresponde a 440 Hz, obtém-se a equação $T = 1000/440$. Assim, a duração do T é 2,3 ms.

O afinador eletrônico torna-se um recurso relevante em práticas didáticas que envolvam a interdisciplinaridade do ensino da física utilizando noções de afinação. Nesse caso, o Tuner Pitched realiza a avaliação do som em tempo real, apresentando símbolos que mostram a afinação. Se o som estiver afinado, os símbolos de bemol e sustenido localizados na parte superior ficarão verdes. Se a desafinação tender para o agudo, o símbolo correspondente ao sustenido (parte superior direita) ficará laranja. Se a desafinação tender para o grave, o símbolo correspondente ao bemol (parte superior esquerda) ficará laranja. Veja a Fig. 2 com os seguintes exemplos: nota lá4 desafinada para baixo, nota lá4 afinada e nota lá4 desafinada para cima.

O entendimento dos conceitos de frequência e amplitude, as relações com as notas musicais e a capacidade de presenciar as medições correspondentes em aplicativos de smartphone contemplam um amplo espectro de elementos, fornecendo uma visão global do fenômeno. A execução e análise de notas musicais

completam a experiência, ofertando a oportunidade de descobrir como funcionam os aplicativos e suas propriedades de exposição de dados. A apresentação do aplicativo costuma gerar interesse e curiosidade. Muitos alunos fazem comentários sobre como afinam seus instrumentos e quais são os aplicativos mais utilizados. Verifica-se também o interesse em entender melhor como funciona a interface.

Os alunos são convidados a cantar as notas de uma música vagarosamente e observar o nome das notas e os valores correspondentes em Hertz. Eles demonstram grande empatia pela música e interessam-se pelo repertório da música popular. Por outro lado, é muito comum demonstrarem timidez para cantar, mesmo no caso de músicas muito conhecidas. O professor deve incentivar os alunos, deixando-os à vontade para se expressarem da melhor maneira possível, sem confrontar o acanhamento comum da adolescência. Se encaminhada da maneira correta, a atividade pode motivar tanto uma experiência positiva de autoconhecimento por meio da música quanto servir como uma ferramenta para a expansão dos conhecimentos de física [30].

Depois de conhecerem melhor os princípios do recurso, os alunos realizam o canto da nota dó4, que corresponde a uma frequência de 264 Hz. Algumas tentativas são feitas até se obter uma estabilidade na identificação do som pelo aplicativo. Apesar de prático, o aplicativo apresenta um leve atraso. Dessa forma, o professor deve manter os alunos cientes para que consigam esperar o tempo certo até que a medição correta seja realizada. A Fig. 3 mostra a interface diante da detecção da frequência estipulada.

A segunda aula tem início com a parte teórica. O matemático Joseph Fourier demonstrou que cada movimento periódico de uma partícula pode ser repre-

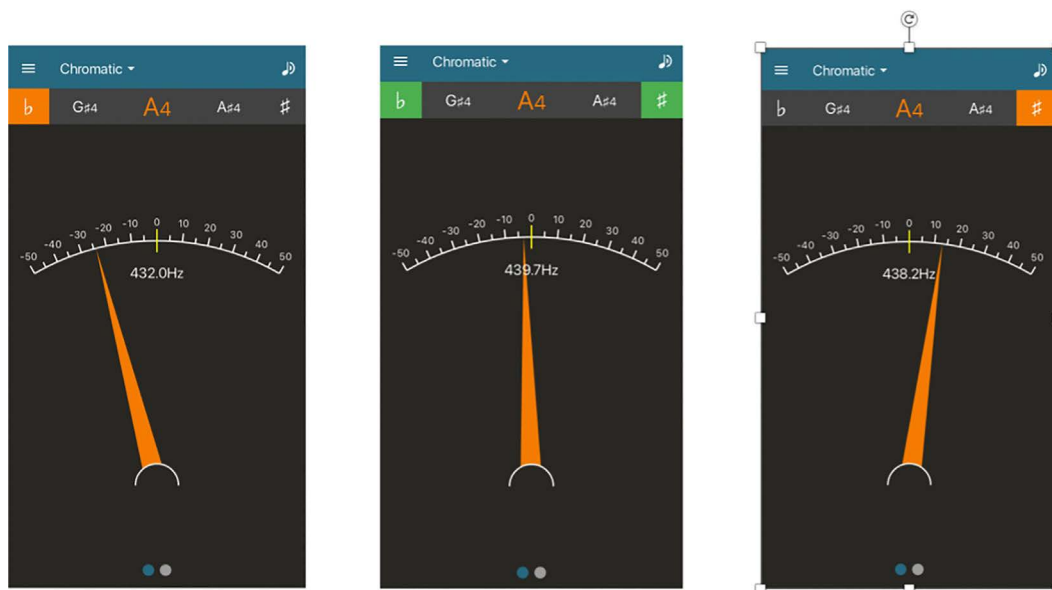


Figura 2 - O aplicativo Tuner Pitched com a nota lá4 desafinada para baixo, afinada e desafinada para cima.



Figura 3 - O aplicativo Tuner Pitched com a nota dó4.

sentado por uma combinação de movimentos simples [28]. Essa constatação permitiu o desenvolvimento do Teorema de Fourier, que apresenta uma explicação consistente acerca do fenômeno das vibrações periódicas. Segundo ele, todo som de altura definida pode ser descrito por seus múltiplos harmônicos em relação de número inteiro com uma fundamental, tendo como resultante a soma de toda uma série de sons (curvas) senoidais, e pode ser representado por uma série de funções ortogonais [29]. Essa série foi chamada pelo matemático de série harmônica natural. A Tabela 2 apresenta as frequências, em Hertz, das ondas senoidais que constituem a série harmônica de dó (C), juntamente com as notas que correspondem a tais frequências grafadas na partitura.

Ao se observar a sequência de notas musicais e frequências em Hertz, verifica-se que cada uma corresponde ao valor da frequência fundamental multi-

Tabela 2: Frequências das ondas senoidais da série harmônica de dó.

Harmônico	Nota	Frequência (Hz)
1	C ₂	66
2	C ₃	132
3	G ₃	196
4	C ₄	264
5	E ₄	330
6	G ₄	396
7	Bb ₄	462
8	C ₅	528
9	D ₅	594
10	E ₅	660

plicada pelo seu número hierárquico na configuração da série harmônica (1-C₂ = 66 Hz/2-C₃ = 132 Hz (66 × 2)/3-G₃ = 196 Hz (66 × 3)/4-C₄ = 264 Hz (66 × 4)/5-E₄ = 330 Hz (66 × 5)/ 6-G₄ = 396 Hz (66 × 6)/7-Bb₄ = 462 (66 × 7)/8-C₅ = 528 Hz (66 × 8)/9-D₅ = 594 Hz (66 × 9)/ 10-E₅ = 660 Hz (66 × 10)).

O software Audacity realiza um amplo conjunto de ações necessárias para a gravação e o tratamento do som com fins de produção musical. Além disso, apresenta características relevantes do ponto de vista didático. Sua interface é rica em informações técnicas e permite a visualização dos fenômenos sonoros com grande detalhamento. É possível identificar com muita precisão tanto os aspectos musicais (ritmo e tempo) quanto os elementos acústicos (amplitude e frequência). A Fig. 4 apresenta a imagem da interface do software sem nenhuma gravação realizada.

Os alunos são apresentados ao som senoidal emitido pelo software Audacity. Eles são convidados a observar os aspectos básicos da onda no que tange ao período e à frequência. São realizadas experiências com a manipulação do volume, provocando o aumento e a diminuição da amplitude. Por fim, o som senoidal da nota dó é emitido para ser estudado com mais pro-

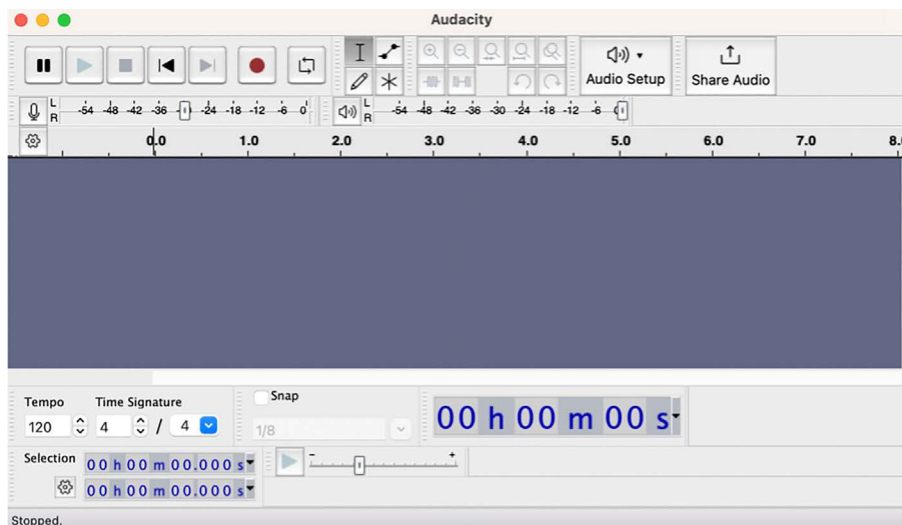


Figura 4 - Audacity.

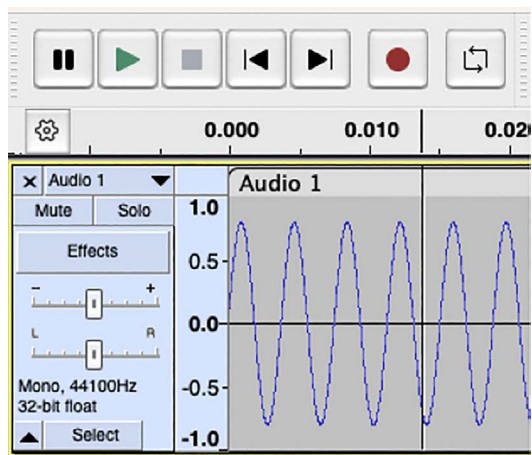


Figura 5 - Senoide da nota dó.

fundidade. A Fig. 5 exibe o som senoidal conforme representado pelo software Audacity.

O professor dá sequência promovendo uma análise de espectro que compara os sons da senoide e da voz cantada. Assim, um aluno é convidado a cantar a nota dó4 para que seja comparada com o som senoidal no que tange à análise de espectro. De ano para ano, a composição das turmas mostra uma grande variação, com uma disponibilidade diversa no que tange a alunos com prática de canto. Em alguns casos, há alunos que já apresentam experiência cantando em conjuntos e igrejas, o que facilita o processo. Observe a Fig. 6, resultado da gravação de duas pistas de áudio: uma com o som da senoide e outra com o som da nota dó.

Os alunos comparam o som senoidal com o som da voz do aluno. O professor convida os alunos a debater sobre as diferenças entre as características de cada som. O som senoidal é constantemente descrito como um som de robô, algo artificial e até como um som de pato. Quando comparados os sons, os alunos refletem sobre a natureza do som, sendo um sintetizado e o ou-

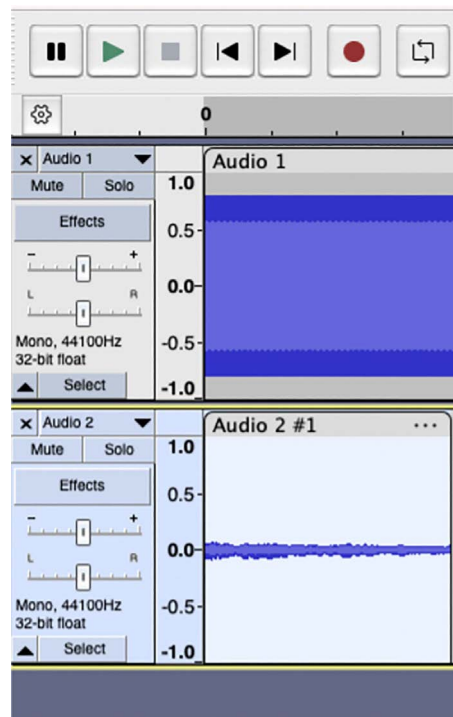


Figura 6 - Duas pistas de áudio, uma com o som da senoide e outra com o som da nota dó.

tro da voz humana. Muitos dizem que o som da voz do aluno é real, enquanto o outro som é a criação de um computador. Essa diferença implica em características que são qualificadas como um som igual e reto, no caso do som senoidal, e um som bruto e estremeado, no caso do aluno (qualificações dos alunos).

A análise de espectro proporciona um resultado interessante. O som senoidal apresenta basicamente o pico do primeiro harmônico da nota dó, enquanto a nota emitida pelo aluno apresenta todos os harmônicos identificados pelo teorema de Fourier. Nessa perspectiva, os alunos perceberam que a riqueza timbrística

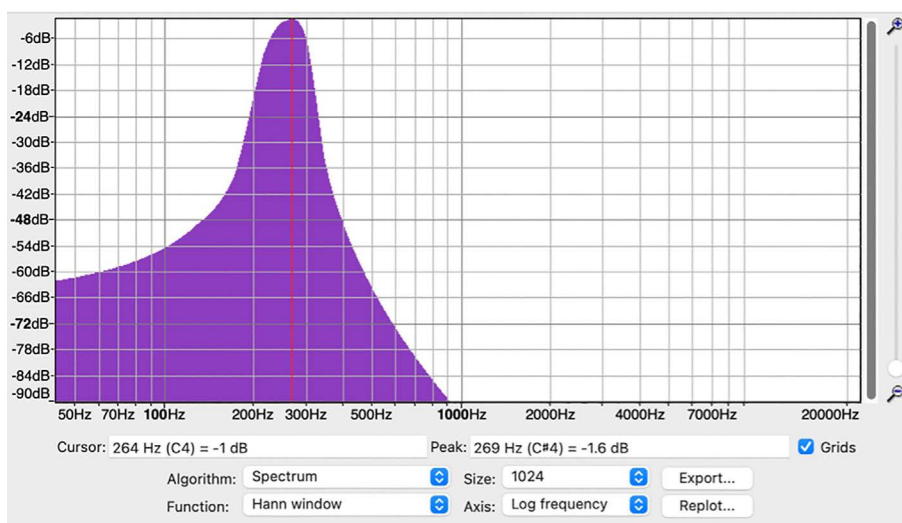


Figura 7 - Análise de espectro do som senoidal.

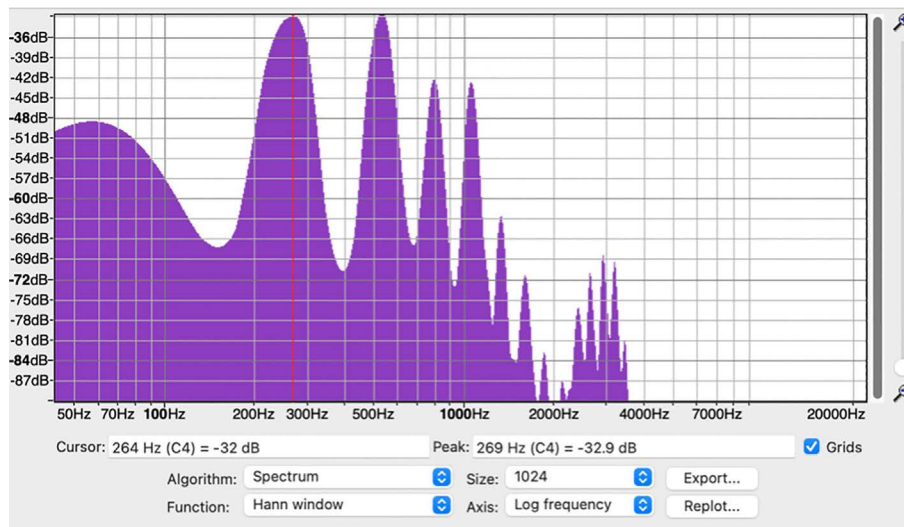


Figura 8 - Análise de espectro da voz do aluno.

está relacionada com a estruturação dos harmônicos, e essa organização é capaz de gerar a identidade que marca as características de um som. Veja as análises nas Figs. 7 e 8.

O professor chama os alunos a refletir sobre o resultado das análises de espectro. Ao comparar as qualificações realizadas anteriormente com os dados apresentados, os alunos percebem que as representações que constam nas análises de espectro são coerentes. O som senoidal apresenta limitações no âmbito dos harmônicos, o que, nas palavras dos alunos, significa “falta alguma coisa”. É como se a ausência de harmônicos implicasse a carência de características fundamentais para o som. Existem relatos de que há uma correlação entre um som feio e um som com poucos harmônicos. Alguns alunos relatam que conseguem entender melhor as características de cada som com a análise de espectro.

5. Conclusão

O relato da experiência trazido no artigo mostra a construção de uma sequência didática interdisciplinar por meio da colaboração entre física e arte. Objeto de dificuldades na forma de atingir bons resultados de

compreensão, o ensino de ondas enfrenta obstáculos relevantes. O engajamento produzido pelo uso do aplicativo Tuner Pitched e do software Audacity promove uma aproximação dos alunos com aspectos gerais do fenômeno físico. O aprofundamento do tópico realizado por meio do teorema de Fourier e a apresentação da série harmônica permite explorar o tema com

maior profundidade. A presente pesquisa pode fornecer elementos para a reflexão e a criação de novas iniciativas de prática e pesquisa. Nessa perspectiva, cabe pensar em um novo olhar no âmbito do ensino. Ao aproximar o estudo das ondas da música e

da tecnologia, o professor pode se utilizar de elementos que são úteis para relacionar o conhecimento dos alunos. Tanto a música quanto a tecnologia estão recorrentemente associadas ao cotidiano dos jovens, o que pode ser benéfico para gerar empatia com as atividades. Além disso, pode-se colher frutos no sentido de aproveitar situações concretas do fenômeno acústico constituídas pela prática musical.

Recebido em: 29 de Maio de 2024

Aceito em: 15 de Janeiro de 2025

Referências

- [1] H.P. Chang, J.Y. Chen, C.J. Guo, C.C. Chen, C.Y. Chang, S.H. Lin, Int J Sci Educ. **29**, 465 (2007).
- [2] A. Tongchai, M.D. Sharma, I.D. Johnston, K. Arayathanitkul, C. Soankwan, Phys Rev ST Phys Educ Res. **7**, 020101 (2011).
- [3] C. Fazio, I. Guastella, R.M. Sperandeo-Mineo, G. Tarantino, Int J Sci Educ. **30**, 1491 (2008).
- [4] M. Sözen, M. Bolat, Procedia Soc Behav Sci. **15**, 1060 (2011).
- [5] M.C. Wittmann, R.N. Steinberg, E.F. Redish, Int J Sci Educ. **25**, 991 (2003).
- [6] S.L. Piubelli, H.A. Errobidart, S.T. Gobara, N.C.G. Errobidart, Revista Brasileira de Ensino de Física **32**, 1501 (2010).
- [7] U.M. Neves, Revista Brasileira de Ensino de Física **35**, 1307 (2013).
- [8] J.D.A. Silva, C.M.S.G. Sousa, Ciênc Educ (Bauru) **20**, 23 (2014).
- [9] A.G. Santos, F.S. Barros, A Física na Escola **9**(2), 14 (2008).

- [10] M.B. Santos, *Uma Sequência Didática com os Métodos Instrução pelos Colegas (Peer Instruction) e Ensino sob Medida (Just-in-time Teaching) para o Estudo de Ondulatória no Ensino Médio*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.
- [11] I.M. Fomin, L.G. Schafhauser, J.L.M. Matos, S. Nisgoski, T.C. Freitas, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **40**, e4303 (2018).
- [12] J.P. Donoso, A. Tannús, F. Guimarães, T.C. Freitas, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **30**, 2305 (2008).
- [13] D.O. Lima, F. Damasio, *Cad Bras Ensino Fis.* **36**, 818 (2019).
- [14] A. Kandus, F.W. Gutmann, C.M.C. Castilho, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **28**, 427 (2006).
- [15] T.R.A. Alves, D.Z. Santos, M.J. Correia, *A Física na Escola* **21**(1), 220704 (2023).
- [16] N.E. Souza Filho, B.A. Gonçalves, V.T. Oliveira, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **37**, 2313 (2015).
- [17] D. Correia, M.A. Bolfe, I.P.S. Sauerwein, *Cad Bras Ensino Fis.* **33**, 556 (2016).
- [18] M.E. Houle, G.M. Barnett, *J Sci Educ Technol.* **17**, 242 (2008).
- [19] A. Gunhaart, N. Srisawasdi, *Procedia Soc Behav Sci.* **46**, 5750 (2012).
- [20] C.M. Quinn, D.K. Smith, M.F. Chappell, S.D. Carver, S. Duffy, e cols., *J Math Arts.* **13**, 173 (2019).
- [21] J.L.G. Pérez, T.L. Mendoza, V.L. Carrión, *Suma Rev Ens Ap Mat.* **64**, 113 (2010).
- [22] R.W. Hall, *J Math Music.* **8**, 125 (2014).
- [23] S.M. Coelho, G.R. Machado, *Cad Bras Ensino Fis.* **32**, 207 (2015).
- [24] C.M. Quinn, D.K. Smith, M.F. Chappell, S.D. Carver, S. Duffy, e cols., *J Math Arts* **13**, 173 (2019).
- [25] R.W. Hall, *J Math Music* **8**, 125 (2014).
- [26] J.L.G. Pérez, T.L. Mendoza, V.L. Carrión, *Suma Rev Ens Ap Mat.* **64**, 113 (2010).
- [27] A. Zabala, *A Prática Educativa: Como Ensinar* (Artmed, Porto Alegre, 1998).
- [28] L. Henrique, *Acústica Musical* (Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 2002).
- [29] F. Menezes, *Acústica Musical em Palavras e Sons* (Ateliê Editorial, Cotia, 2003).
- [30] W.P. Santos, F.N. Monteiro Junior, *A Física na Escola* **19**(2), 132 (2021).
- [31] H.F. Olson, *Music, Physics and Engineering* (Dover Publications, New York, 1967).