

Monocórdio de Pitágoras:

da construção às suas potencialidades em promover a interdisciplinaridade entre física e música

Luiz Marcelo Darroz¹ , Alisson Cristian Giacomelli¹, Cleci Teresinha Werner da Rosa¹, Marivane de Oliveira Biazus¹, Patricia Boeira Ferreto¹, Juliana Ruziski¹

¹Instituto de Humanidades, Ciências, Educação e Criatividade, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, Brasil.

Palavras-chave

monocórdio de Pitágoras
física acústica
música
experimento de Pitágoras

Resumo

Este trabalho apresenta uma proposta de construção de uma versão didática do monocórdio de Pitágoras, utilizando materiais de baixo custo e fácil aquisição. O objetivo é apresentar a proposta de construção do equipamento, seguida de sugestões de uso em sala de aula. O instrumento construído foi testado experimentalmente os resultados obtidos estão de acordo com os indicados pelas equações matemáticas contidas nos livros-texto. Também foi possível observar o potencial de se utilizar as atividades propostas para promover uma abordagem interdisciplinar em sala de aula, relacionando conteúdos de física e música. Dessa maneira, o material favoreceu oportunidades para estabelecer uma conexão entre a teoria e a prática.

1. Introdução

Física e música apresentam vínculos desde a Antiguidade. De acordo com Fonseca [1], Pitágoras foi o primeiro a escrever um documento científico sobre a relação entre as áreas, datado do século VI a.C. aproximadamente. Nele, o filósofo e matemático relata ter observado, a partir de seus experimentos com um monocórdio, que a altura do som e o tipo de sonoridade produzidos por uma corda vibratória variam conforme o seu comprimento. Essa descoberta o levou à noção e percepção do que hoje definimos

como o conceito de escala musical, conhecida atualmente como “escala pitagórica”, base da música ocidental.

Nesse experimento, Pitágoras estabeleceu uma importante correspondência matemática entre as consonâncias dos tons, oferecidos em uma única corda, e os intervalos musicais. O instrumento elabo-

Física e música apresentam vínculos desde a Antiguidade. Pitágoras foi o primeiro a escrever um documento científico sobre a relação entre as áreas, datado aproximadamente do século VI a.C.

borado a partir dessa relação com a escala foi constituído por intervalos musicais de oitava, quinta e de quarta, que se formam por razões matemáticas de valor $1/2$, $2/3$ e $3/4$, respectivamente, e estão associados à proporção de compri-

Autor de correspondência. E-mail: ldarroz@upf.br.

Este é um artigo de acesso livre sob licença Creative Commons



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

Copyright © 2024, Copyright by Sociedade Brasileira de Física. Printed in Brazil.

mento da corda que é posta a vibrar [2]. A descoberta de Pitágoras lançou luz sobre inúmeras discussões no âmbito da música teórica fundamentada pelos conceitos matemáticos de razão e proporção.

O funcionamento do monocórdio de Pitágoras, assim como de qualquer outro instrumento musical, possui relações íntimas com os conceitos da física, principalmente da física ondulatória. Tal funcionamento possibilita desde o entendimento da construção dos instrumentos e seu efeito sonoro até a relação com a formação das notas em uma escala musical, onde se pode observar muitos conhecimentos físicos, como relações de comprimento de onda, força de tração e resistência, frequência, interferência, ressonância, formação de ondas estacionárias, entre outros. Isso mostra quão rica pode ser uma abordagem em sala de aula que busque estabelecer essas relações junto aos estudantes, principalmente se conduzida por atividades práticas de caráter lúdico na didática trabalhada pelo professor. Tal abordagem está alinhada com a concepção de Cavalcante [3], que defende a interdisciplinaridade entre física e música, criticando a fragmentação dos conteúdos escolares. O autor também considera que uma das possíveis razões para o desinteresse pela física por parte dos estudantes está no fato de que esta perdeu o seu caráter experimental e lúdico [3], ou seja, em muitos casos do dia a dia essa relação não é observada pelos estudantes.

Em seu estudo, Moreira [4] destaca que um dos principais motivos de os alunos demonstrarem tanto desinteresse pela física é que ela, na maioria das vezes, lhes é apresentada de maneira desarticulada de sua realidade. Segundo o autor, o que ocorre, na maioria das escolas, é um ensino de física que prioriza a reprodução de fórmulas e a resolução mecânica de exercícios, com o objetivo de preparar os estudantes para testes, fazendo com que decorem os conteúdos somente para “passar nas provas” [4].

Uma das alternativas para a superação desse tipo de ensino está em mostrar que a ciência também faz parte da cultura humana. Nesse sentido, Zanetic [5] argumenta que o ensino de física não pode abrir mão “da conceituação teórica, da experimentação, da história da física, da filosofia da ciência e de sua ligação com a sociedade e com outras áreas da cultura”.

Considerando a importância de se observar a presença de conhecimentos físicos em todas as situações da vida cotidiana - em particular, no contexto exposto - e concordando com Monteiro e Carvalho [6], quando defendem que situações didáticas nas quais física e

música são relacionadas podem ser extremamente enriquecedoras e empolgantes para o ensino de ambas as disciplinas, este trabalho visa apresentar uma proposta de construção de uma versão didática do monocórdio de Pitágoras, utilizando materiais de baixo custo e de fácil aquisição.

Frente a isso, o texto apresenta inicialmente o monocórdio de Pitágoras e sua relação com a física; na sequência, descreve o processo de construção do instrumento; posteriormente, expõe uma análise dos sons obtidos a partir do instrumento, e, em sua última parte, traz algumas considerações

sobre o trabalho.

2. O monocórdio de Pitágoras

O monocórdio de Pitágoras, instrumento composto por uma corda estendida e tracionada entre dois cavaletes fixos sobre uma prancha ou mesa, possuindo um cavalete móvel, é considerado um dos primeiros instrumentos musicais científicos da história ocidental [2]. De acordo com os registros de Guido d'Arezzo (992-1050 d.C), em seu influente tratado de música, intitulado *Micrologus*, certo dia, ao andar pela rua, Pitágoras teria ouvido sons de martelo emanados de uma oficina de ferreiros. Alguns soavam de forma consonante e outros de forma dissonante aos seus ouvidos, o que o levou a questionar qual seria a relação entre aqueles sons [2].

Em um primeiro momento, ao realizar procedimento semelhante, supôs que a qualidade poderia provir da força aplicada em cada batida. Trocou o martelo e observou que se conservava o som que lhe era próprio e, assim, constatou que os materiais possuíam pesos diferentes. Após a construção do monocórdio, observou que, ao tocar a corda inteira relativa aos dois cavaletes fixos, produzia-se determinado som com uma nota específica. Depois disso, ao pressionar um ponto situado na metade do comprimento da corda em relação às suas extremidades, atingia uma nota que soava igual ao seu ouvido, porém mais aguda.

Com o experimento do monocórdio, Pitágoras percebeu que, ao esticar uma corda, seu som variava em função da tensão aplicada, da espessura da corda e de seu comprimento. Assim, começou a construir uma relação matemática entre as consonâncias dos tons e os intervalos musicais. Utilizou apenas os números racionais 1, 2, 3 e 4 e estabeleceu um princípio segundo o qual toda nota seria equivalente a outra quando a divisão da corda formasse sua metade (1/2). Isto é, identificou que, pressionando um ponto situado a 3/4 do comprimento da corda em relação à sua extremidade

O monocórdio de Pitágoras, instrumento composto por uma corda estendida e tracionada entre dois cavaletes fixos sobre uma prancha ou mesa, possuindo um cavalete móvel, é considerado um dos primeiros instrumentos musicais científicos da história ocidental

Este trabalho visa apresentar uma proposta de construção de uma versão didática do monocórdio de Pitágoras, utilizando materiais de baixo custo e de fácil aquisição

(reduzindo-a a 3/4 de seu tamanho original), ouvia-se uma quarta acima do tom emitido pela corda inteira. Se o ponto estivesse a 2/3 do tamanho original da corda, ouvia-se uma quinta acima, e estando situado a 1/2, obtinha-se uma oitava acima do som original. Concluiu, então, que, se a corda inteira produzisse a nota DÓ, 3/4 da corda produziria FÁ, 2/3 emitiria uma nota SOL e 1/2, outra nota DÓ.

Dessa maneira, mesmo sem o pleno conhecimento dos conceitos físicos envolvidos, Pitágoras deu uma grande contribuição para a organização da teoria musical na Grécia Clássica. Por meio do uso da onda sonora gerada pela vibração da corda, que se configura pelo som produzido devido à formação de uma onda estacionária na corda, foi possível, por exemplo, uma regularização quanto à afinação dos sons emitidos.

Nesse sentido, vale ressaltar que ondas são perturbações que se deslocam no espaço, transportando, exclusivamente, energia de um ponto a outro, sem realizar transporte de matéria e ondas estacionárias, que, por sua vez, são oscilações periódicas produzidas pela interferência entre ondas de frequências iguais e que se propagam na mesma direção, porém em sentidos opostos. Essas ondas são assim chamadas por não se propagarem pelo espaço, ou seja, são “estacionárias”. As oscilações ocorrem essencialmente em uma direção perpendicular à direção das ondas que as produziram. Quando uma onda estacionária é formada, alguns pontos do espaço permanecem em repouso durante todo o tempo. Esses pontos são chamados de nós. Os nós são, portanto, regiões de interferência destrutiva total. Em uma corda vibrante, por exemplo, a formação de uma onda estacionária sempre dá origem a pelo menos dois nós, encontrados nas extremidades onde a corda se encontra fixada. Além dos nós, as ondas estacionárias apresentam antinós, também chamados de “ventres”, e que, diferentemente dos nós, são pontos de interferência construtiva entre as duas ondas e estão sempre em movimento. Chama-se de “comprimento de onda” a distância entre três nós consecutivos, ou ainda a distância entre dois antinós consecutivos. O comprimento de onda é também o tamanho ocupado por uma oscilação completa. A Fig. 1 mostra a representação de uma

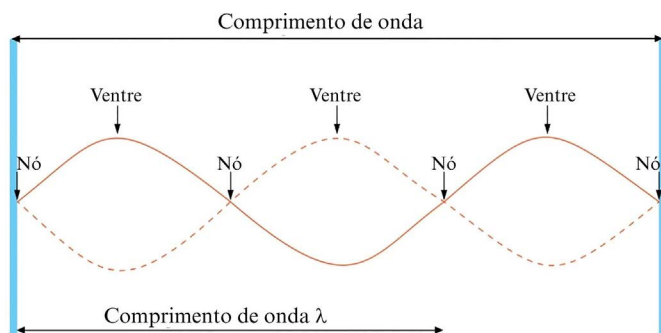


Figura 1 - Elementos de uma onda estacionária. Fonte: Ref. [7].

onda estacionária em uma corda, destacando seus elementos constituintes.

Os sons, ao se propagarem no meio, são combinações harmônicas, contendo os modos normais definidos pelas fontes sonoras. Os resultados contêm os mesmos modos de oscilação da fonte, o que os torna característicos com qualidade (timbre) e altura definidas pela frequência fundamental (um harmônico). Os harmônicos de uma corda vibrante são contados a partir do número de ventres que se configuram na onda estacionária formada na corda. Assim, uma corda de comprimento L , tensionada e fixa em suas duas extremidades, tem modos de vibração definidos por comprimentos de onda (λ_n) conforme a Eq. (1).

$$\lambda_n = \frac{2L}{n}, \quad [1]$$

onde L é o comprimento da corda posta a vibrar, λ é o comprimento de onda correspondente ao respectivo harmônico e n é o número do harmônico, que pode assumir somente valores inteiros. O comprimento de onda e a frequência (f) relacionam-se com a velocidade (v) de propagação da onda em uma corda, de acordo com a Eq. (2).

$$\lambda_n = \frac{v}{f_n}. \quad [2]$$

Substituindo a Eq. (1) na Eq. (2), temos

$$f_n = \frac{nv}{2L}. \quad [3]$$

A velocidade com que uma onda se propaga em uma corda é dada pela raiz quadrada da razão entre a tração T a que a corda está submetida e sua densidade linear μ (massa - m - por unidade de comprimento - L).

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}. \quad [4]$$

Substituindo a Eq. (4) na Eq. (3), temos:

$$f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}, \quad [5]$$

onde f_n é a frequência correspondente ao harmônico n , L é o comprimento da corda, T é a tração a que a corda está submetida, μ é a densidade linear da corda e n é o número que representa a ordem do harmônico.

No que diz respeito ao monocórdio proposto neste trabalho, é possível fazer algumas considerações em relação à Eq. (5). Destaca-se, inicialmente, que a nota musical formada ao se vibrar a corda constitui-se em um conjunto de possíveis frequências dadas pelos harmônicos formados na corda. Entretanto, a frequência

específica correspondente à nota musical está associada ao primeiro harmônico, ou seja, faz-se $n = 1$. Nesse sentido, pode-se observar fisicamente quais grandezas influenciam na formação de cada frequência correspondente a cada nota em uma determinada escala musical. Nota-se que, como o monocórdio é um instrumento de uma corda só, a grandeza μ não pode ser alterada, de modo que só podemos alterar a tração T e o comprimento L da corda. Analisando a Eq. (6), constata-se que L é inversamente proporcional a f , ou seja, para obter frequências maiores (sons mais agudos), deve-se diminuir o tamanho de L . Já em relação à tração T da corda, a frequência é diretamente proporcional à sua raiz quadrada, o que remete ao fato de que, para ter frequências maiores, é necessário aumentar a tração a que a corda está submetida.

3. A proposta de construção

Para a construção do instrumento, buscou-se utilizar materiais de fácil aquisição e manipulação e, também, de longa duração, atentando ainda para a natureza do material vegetal responsável por produzir a sonoridade, com o intuito de se atingir uma qualidade sonora. Dessa maneira, os materiais selecionados foram: 1 ripa para a tampa (item 1 da Fig. 2) de 80 cm x 6,2 cm com 9 furos de aproximadamente 3 cm de diâmetro cada; 3 ripas de madeira de 78 cm por 7 cm (itens 2, 3 e 4 da Fig. 2) para as laterais e o fundo da caixa acústica; 1 calço (item 5 da Fig. 2) feito com um polímero (que pode ser substituído por qualquer material rígido que sirva como ponto de apoio fixo da corda); 1 dinamômetro portátil (item 6 da Fig. 2); 1 tarraxa de violão simples (item 7 da Fig. 2) e 1 fio de nylon (item 8 da Fig. 2) com 70 cm de comprimento (terceira corda do violão).

A primeira etapa da construção consiste em fixar alinhadamente as ripas de madeira para formar uma caixa acústica de 78 cm de comprimento. Sugere-se que

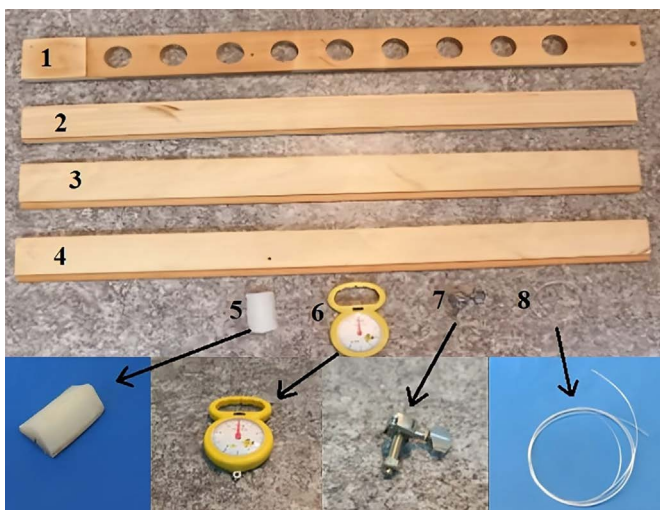


Figura 2 - Materiais utilizados na construção do monocórdio.

as ripas sejam lixadas anteriormente e coladas com cola para madeira. Na etapa seguinte, deve-se instalar a tarraxa de violão em uma das extremidades da ripa furada (tampo da caixa acústica - parte superior do monocórdio), conforme mostrado na Fig. 3, que será a tampa do monocórdio.

A seguir, é necessário prender o dinamômetro com o auxílio de parafusos na outra extremidade da tampa, mantendo 70 cm de distância entre a tarraxa de violão e o dinamômetro (comprimento da corda).

Na parte superior do monocórdio, deve ser colada uma escala métrica para auxiliar nas medições do comprimento da corda a ser posta para vibrar (Fig. 4).

Destaca-se que, por meio desse arranjo, é possível variar e medir tanto a tensão aplicada à corda como o comprimento posto a vibrar. Essas medições permitem estabelecer importantes relações entre as grandezas da Eq. (5), proporcionando um entendimento mais amplo acerca de seu significado físico. Além disso, é possível estabelecer relações significativas entre a física, a música e a matemática, variando o comprimento da corda de acordo com as razões matemáticas correspondentes a uma determinada escala musical e medindo as respectivas frequências produzidas.

4. Sugestões de uso do monocórdio em sala de aula

Este item apresenta algumas sugestões de uso do monocórdio em sala de aula para abordar tópicos de ondulatória, estabelecendo relações com conceitos da música. Destaca-se que este texto se limita a descrever os procedimentos utilizados e os resultados obtidos, cabendo ao professor, de acordo com suas concepções pedagógicas, elaborar um roteiro didático para ser utilizado junto aos alunos.

A primeira atividade proposta está relacionada aos conceitos de período e frequência. A intenção é que o estudante possa fazer medições do período de uma onda sonora, observando-o no gráfico da amplitude em função do tempo e relacionando essa medida com a frequência. Além disso, a frequência da onda sonora pode ser relacionada com a nota musical em que o



Figura 3 - Detalhe da tarraxa de violão.



Figura 4 - Monocórdio finalizado e pronto para uso.

monocórdio está afinado, evidenciando que cada nota musical corresponde a uma determinada frequência. Nesse sentido, uma possível atividade é determinar qual é a afinação do monocórdio, ou seja, qual é a frequência do som emitido quando se põe para vibrar a sua corda em seu comprimento total.

Para medir o período, determinando posteriormente a frequência do som emitido, utilizamos o Audacity, um software gratuito de edição de áudio que permite gravação e análise do espectro de frequências. Por meio dele, é possível gravar o som produzido pelo monocórdio e, destacando um ciclo completo com o cursor do mouse, medir o período do som. Para diminuir os problemas de medição, optamos por destacar um intervalo de tempo correspondente a 10 períodos, como mostra a Fig. 5.

De acordo com o valor destacado em vermelho, o intervalo de tempo Δ para 10 ciclos completos resultou em 0,051 s. Dividindo esse resultado por 10, encontramos o período da onda sonora, que é igual a 0,0051 s. Fazendo o inverso desse valor, obtivemos a frequência de 196 Hz, que corresponde à nota SOL, a afinação do monocórdio utilizada em nossos experimentos.

Outra atividade que pode ser realizada com auxílio do monocórdio é estabelecer a relação da frequência em função do comprimento do fio posto a vibrar, relação esta explicitada na Eq. (5). Para alterar tal comprimento, foi utilizado um calço, como mostra a Fig. 6.

Os dados da frequência, apresentados na Fig. 7, foram obtidos utilizando novamente o Audacity. As medições foram feitas variando em 10 cm a posição do

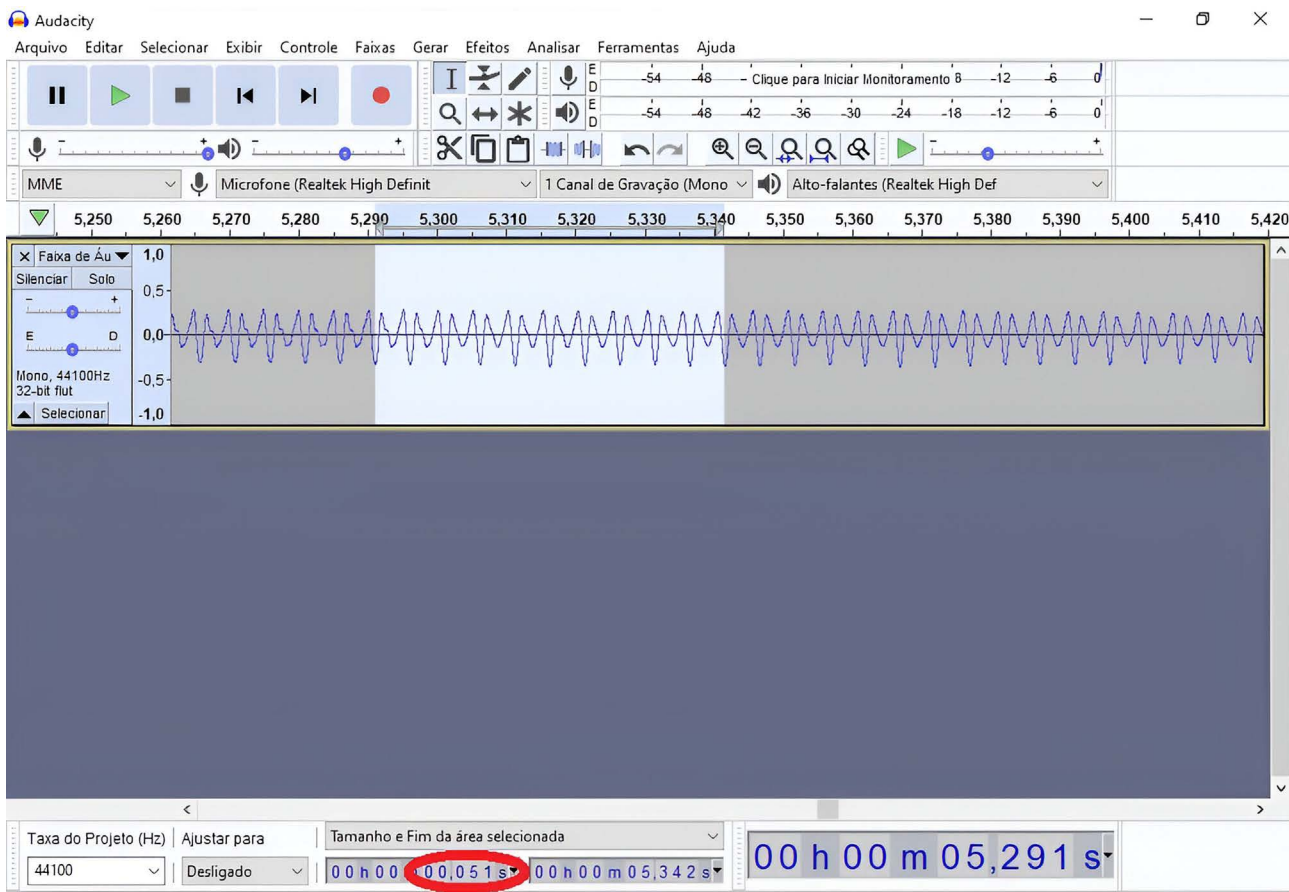


Figura 5 - Medição do período do som pelo monocórdio por meio do Audacity.

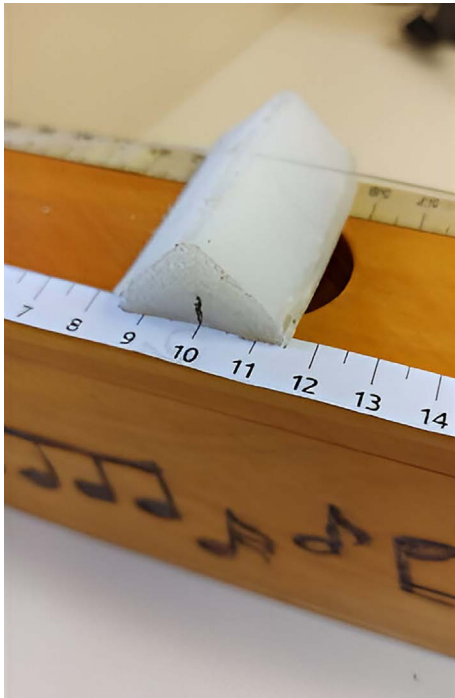


Figura 6 - Detalhe do calço.

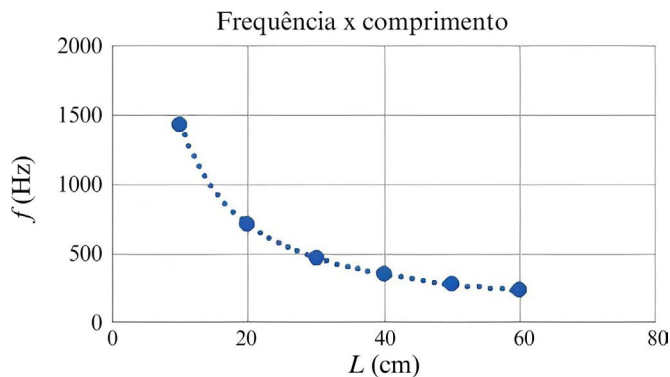


Figura 7 - Gráfico da frequência em função do comprimento da corda.

calço para cada medida. Destaca-se que os valores obtidos não correspondem a notas musicais específicas, pois a intenção com essa atividade é variar o comprimento da corda de maneira linear, estabelecendo a relação desses valores com a frequência do som produzido para explicitar a aplicação da Eq. (5).

A curva do gráfico da Fig. 7 aponta para os dados obtidos quando se aplica a Eq. (5). Ou seja, à medida que o comprimento da corda L aumenta, a frequência f diminui. Tal compreensão é conhecida como “lei das cordas”, em que a frequência de vibração da corda é inversamente proporcional ao seu comprimento. Logo, os efeitos sonoros a partir das notas musicais em boa parte dos instrumentos podem ser calculados, gerando a compreensão dos efeitos musicais sonorizados no instrumento. O entendimento das conexões entre física e música por meio dessas relações é de fundamental

importância para se perceber que o conhecimento acerca do mundo não está compartimentalizado nas disciplinas escolares.

A Eq. (5) também traz a relação da frequência do som emitido com a tensão a que a corda está submetida. Nesse sentido, propõe-se a observação experimental dessa relação, a fim de que o aluno perceba que é esse recurso que um músico utiliza, por exemplo, para afinar um violão. Para fazer essas verificações, é preciso medir as frequências para seis valores de tensão, variando estas de 10 N em 10 N. A Fig. 8 demonstra o gráfico das frequências obtidas em função da tensão da corda.

Pode-se perceber, novamente, uma aproximação dos dados com a interpretação matemática da Eq. (5). Ou seja, a frequência é diretamente proporcional à raiz quadrada da tensão a que a corda está submetida. Pode-se discutir também que, ao afinar um instrumento de cordas, se este está mais grave do que deveria, deve-se esticar a corda, ou seja, aumentar a tensão a que está submetida.

A última atividade proposta neste estudo consiste em estabelecer a relação entre o comprimento da corda, a frequência do som emitido e as notas da escala natural. Como mencionado anteriormente, o intervalo entre uma nota e outra de uma determinada escala musical é definido por uma razão matemática. Relacionando essa informação com o monocórdio, essa razão nos dá a fração da corda que deve ser posta a vibrar para se obter aquela nota. Por exemplo, o monocórdio construído foi afinado em SOL para a realização da experiência. Para a nota SOL, o comprimento é L ; se for colocado a vibrar $3/4$ do comprimento L da corda, obtém-se a quarta na escala de SOL, que consiste na nota DÓ, que possui $4/3$ da frequência de SOL. Em síntese, quando se alterna de uma nota para outra, a frequência do som vai aumentando de acordo com razões matemáticas definidas pela teoria musical. Dessa maneira, realizamos as medidas do comprimento da corda e das respectivas frequências para uma oitava completa, começando em SOL. Os dados obtidos estão dispostos na Tabela 1.

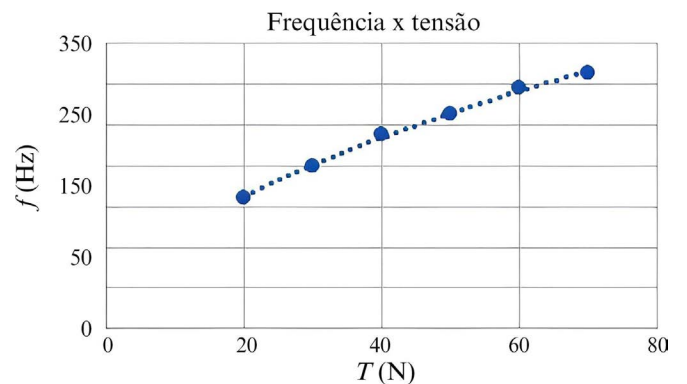


Figura 8 - Gráfico da frequência em função da tensão da corda.

Tabela 1: Escala natural.

	SOL	LÁ	SI	DÓ	RE	MI	FÁ	SOL
L (cm)	L	$\frac{8}{9}L$	$\frac{4}{5}L$	$\frac{3}{4}L$	$\frac{2}{3}L$	$\frac{3}{5}L$	$\frac{8}{15}L$	$\frac{1}{2}L$
L (cm)	70,0	62,2	56,0	52,5	46,7	42,0	37,3	35,0
f (Hz)	f	$\frac{9}{8}f$	$\frac{5}{4}f$	$\frac{4}{3}f$	$\frac{3}{2}f$	$\frac{5}{3}f$	$\frac{15}{8}f$	$\frac{2}{1}f$
f (Hz) medida	196,0	220,0	246,0	261,0	293,0	329,0	369,0	392,0
f (Hz) calculada	196,0	220,5	245	261,3	294,0	326,6	367,5	392,0

Para medir a frequência, sugere-se a utilização do aplicativo gratuito para smartphone denominado Soundcorset. Além de medir a frequência, esse aplicativo permite conferir se a nota corresponde à escala musical. Desse modo, calculou-se inicialmente a nota que cada comprimento da corda deveria produzir, utilizando as mesmas razões matemáticas empregadas para determinar o comprimento da corda. A partir disso, determinou-se a frequência denominada de “calculada”. Posteriormente, foram feitas as medidas, utilizando o aplicativo de modo a não só identificar se de fato as notas correspondiam ao esperado, mas também para verificar a frequência de cada som emitido. Os valores das frequências medidas estão na última linha do quadro. Constatou-se, mais uma vez, a aproximação entre a frequência calculada para cada nota e a medida, o que denota a aplicabilidade do equipamento.

As relações explicitadas na Tabela 1 estabelecem uma importante conexão entre física, música e matemática. Essa conexão perpassa o estudo de conceitos como frequência das ondas sonoras e sua relação com as diferentes notas musicais, assim como aplica de maneira prática e lúdica o uso de frações.

5. Considerações finais

O estudo da acústica utilizando instrumentos musicais permite transcender a teoria, relacionando conceitos abstratos da física com situações do cotidiano dos estudantes. Tal possibilidade vai ao encontro do

que recomenda Zanetic [5], quando afirma que a física deve participar da formação cultural do cidadão contemporâneo. Nesse sentido, o uso do monocórdio em sala de aula mostra-se uma ferramenta capaz de fomentar essa formação de uma maneira prática e participativa por parte dos alunos.

A proposição de construir uma versão didática do monocórdio de Pitágoras revela-se uma estratégia altamente promissora no que se refere a situações envolvendo a discussão e o estudo dos conceitos físicos no Ensino Médio. Nessa perspectiva, os resultados obtidos neste trabalho evidenciam que o instrumento construído é confiável, de fácil construção e capaz de demonstrar empiricamente em sala de aula os dados previstos pelas equações matemáticas contidas nos textos didáticos.

Dessa maneira, salienta-se que estudos como este auxiliam na promoção de aulas mais aplicadas e capazes de realizar a integração dos conceitos presentes em várias áreas do conhecimento. Por meio de estratégias como a demonstrada neste texto, pode-se romper com o paradigma de que os conceitos de física são algo distante e desvinculado da realidade dos estudantes e da cultura humana historicamente construída.

Recebido em: 22 de Maio de 2023

Aceito em: 28 de Março de 2024

Referências

- [1] D.F. Fonseca, *Aspectos Estruturais e Históricos que Relacionam a Música e a Matemática*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.
- [2] O.J. Abdounur, in: *Anais IV CONAPESC*, Campina Grande 2019 (Realize Editora, Campina Grande, 2019). Disponível em <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/57030>, acesso em 3 Dezembro de 2023.
- [3] J.C.L. Cavalcante, F.R. Bueno, C.A. Costa, R.G.G. Amorin, *Revista Amazônica de Ensino de Ciências* 5, 9 (2012).
- [4] M.A. Moreira, *Estudos Avançados* 32, 94 (2018).
- [5] J. Zanetic, *Revista Ciência e Cultura* 57, 21 (2005). Disponível em http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252005000300014, acesso em 5 Setembro de 2022.
- [6] F.N. Monteiro Júnior, W.L.P. Carvalho, *HOLOS* 1, 138 (2011).
- [7] Todo Estudo, *Ondas Estacionárias*. Disponível em <https://www.todoestudo.com.br/fisica/ondas-estacionarias>, acesso em 12 Dezembro de 2023.