



INSTITUTO FEDERAL DO PIAUÍ
CAMPUS – PICOS
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA

DIEGO RAFAEL DA SILVA GREGÓRIO

O USO DO CONTRABAIXO ELÉTRICO COMO RECURSO DIDÁTICO PARA O
ENSINO DE OSCILAÇÕES E ONDAS SONORAS

PICOS – PI

2022.1

DIEGO RAFAEL DA SILVA GREGÓRIO

O USO DO CONTRABAIXO ELÉTRICO COMO RECURSO DIDÁTICO PARA O
ENSINO DE OSCILAÇÕES E ONDAS SONORAS

Trabalho de conclusão de curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para
obtenção do diploma do Curso Licenciatura
em Física do Instituto Federal do Piauí –
Campus Picos.

Orientador: Prof. Dr. Haroldo Reis Alves de
Macêdo

PICOS – PI

2022.1

FICHA CATALOGRÁFICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS PICOS
COORDENAÇÃO DE BIBLIOTECA
SERVIÇO DE PROCESSOS TÉCNICOS

G821u

Gregório, Diego Rafael da Silva

O uso do contrabaixo elétrico como recurso didático para o ensino de oscilações e ondas sonoras / Diego Rafael da Silva Gregório. — 2022.

41 f.: il.

Monografia (Graduação em Licenciatura em Física) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Picos, 2022.

Orientador: Prof. Dr. Haroldo Reis Alves de Macêdo.

1. Física — Estudo e ensino. 2. Ondas sonoras. 3. Instrumento elétrico. I. Título.

CDD: 530.07



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Piauí

Campus Picos

Coordenação do Curso de Licenciatura em Física

FOLHA DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: “O USO DO CONTRABAIXO ELÉTRICO COMO RECURSO DIDÁTICO
PARA O ENSINO DE OSCILAÇÕES E ONDAS SONORAS”**

ALUNO: Diego Rafael da Silva Gregório

DATA: 13 de janeiro de 2022

Monografia defendida junto à Coordenação do Curso de Licenciatura em Física e aprovada
pela banca examinadora:

Prof. Dr. **Haroldo Reis Alves de Macêdo** - Orientador

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí – IFPI

Instituto Federal do Piauí | Picos

Av. Pedro Marques de Medeiros, S/N - Pantanal | Picos - PI | www.ifpi.edu.br/picos



INSTITUTO FEDERAL
Piauí
Campus Picos

Picos - PI, 13 de janeiro de 2022

Dedico o esforço e a criatividade
na produção desse trabalho ao
Senhor Deus que criou o céu e a terra

Agradecimentos

Agradeço a Deus pelo sustento que Ele me proporcionou até aqui, desde o início até o os últimos momentos desse curso que me acrescentou como humano pensador, a minha família que me apoiou em todos os momentos difíceis que passei, aos meus amigos e colegas de curso, que estão também findando mais essa etapa de suas vidas.

Claro que não poderia esquecer da saudosa página idealizada por nossa turma: quantidademovimemes. Que teve origem num dos momentos de mais união entre nós, que de todas as turmas do nosso campus, foi e sempre será uma das mais próximas de ser chamada de família.

Agradeço também a todo o corpo docente do IFPI *campus* Picos que me ajudaram nessa formação acadêmica.

“Não há cordões em mim...”

Pinóquio

RESUMO

A música tem como potencial estimular o cérebro a ter uma facilitação na memorização de informações, com isso tem-se a desenvoltura de buscar uma prática docente para o ensino da física. Este trabalho de conclusão de curso tem como enfoque uma sequência didática para o ensino da Física para turmas do 2º ano do ensino médio, utilizando contexto prático das ondas sonoras, levando em consideração a dificuldade da aprendizagem que é gerida por abordagens abstratas. Para o desenvolvimento desse projeto, foram utilizados um contrabaixo elétrico, interface de áudio e um software de licença livre (Audacity) para captura, além disso, foram abordadas aulas para introduzir o conteúdo proposto e posteriormente partir do uso do instrumento elétrico para a demonstração através da arte da música com abordagem interdisciplinar.

Palavras-chave: Ondas Sonoras, aulas demonstrativas, instrumento

ABSTRACT

Music has the potential to stimulate the brain to facilitate the memorization of information, thus having the resourcefulness to seek a teaching practice for the teaching of physics. This course conclusion work focuses on a didactic sequence for the teaching of Physics for 2nd year high school classes, using the practical context of sound waves, taking into account the learning difficulty that is managed by abstract approaches. For the development of this project, an electric double bass, audio interface and a free license software (Audacity) were used for capture, in addition, classes were addressed to introduce the proposed content and later from the use of the electric instrument for the demonstration through of the art of music with an interdisciplinary approach.

Keywords: Sound waves, demonstration classes, instrument

Lista de Quadros

Quadro 1.....	34
Quadro 2.....	35

Lista de Símbolos

ξ – Variável de deslocamento da partícula

λ – Comprimento de Onda

f – Frequência

v – Velocidade

Hz - Hertz

F – Força Resultante

s – Rigidez

R – Constante de Atrito

M – Massa

I – Intensidade

d – Distância

T – Temperatura/Período

D – Densidade

K – Constante Elástica

ω – Constante de Fase

μ – Densidade de Vibração

Sumário

1	INTRODUÇÃO	13
2	REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	14
2.1	MOVIMENTO HARMÔNICO AMORTECIDO	14
2.2	TIPOS DE ONDAS	17
2.3	ONDAS SONORAS	18
2.4	PROPAGAÇÃO DE ONDAS SONORAS.....	19
2.5	PROPRIEDADE SONORAS DAS CORDAS.....	22
2.6	CORDAS VIBRANTES	25
2.7	PROPAGAÇÃO DA ONDA SONORA E RESSONANCIA	28
2.8	NOTAÇÃO MUSICAL	29
2.9	SOM MUSICAL	29
2.10	HARMONIA FUNCIONAL.....	30
3	METODOLOGIA PROPOSTA	32
4	PROPOSTA DIDÁTICA.....	34
4.1	PROPOSTA DE AVALIAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	37
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	38
	REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	39

1 INTRODUÇÃO

No cotidiano humano, tem-se algo importante que cadêcia o humor, a música. A música que é um agrupamento sonoro composto por melodia, harmonia e ritmo, traduz o estado de cada pessoa, e sempre em muitas atividades do dia a dia, precisa-se de uma música para dar autoestima, satisfação, emoção, entusiasmo. WEIGSDING e BARBOSA (2014).

A música não só traduz sentimentos como também ajuda o cérebro a funcionar melhor, pois faz com que regiões diferentes sejam ativadas, melhorando também a capacidade de memória e raciocínio de quem toca algum instrumento ou canta por exemplo, o cérebro faz conexões e interrelações de seus neurônios isso porque, segundo os neurocientistas, o cérebro todo é utilizado, principalmente o córtex visual, auditivo e motor RIZZO (2018). A prova disso é que existem músicas com a intenção proposital para ajudar a memorização de equações ou nomes, ou até mesmo lembrar de conceitos e contextos históricos. Como por exemplo as músicas em formas de paródias postas para o estudo da Física POYAY (2014), Matemática FERREIRA (2015), Química LUPINETTI (2016), Biologia SILVA (2015) entre outros.

Na música pode-se aprender vários conceitos físicos como por exemplo: altura, timbre, intensidade. Ao se observar os instrumentos de cordas, percussivos, sopro e teclas, pode-se observar a propagação do som em maneira de acordes e notas, trabalhando em si com suas características distintas sendo especificamente: melodia, harmonia e ritmo, trabalhando em conjunto fazendo-se assim a construção musical.

Cada instrumento de corda possui um timbre característico, embora trabalhem com o mesmo contexto da música, eles constroem a harmonia de maneiras diferentes, por exemplo: Afinação, inversões de acordes, modulações, harmônicos naturais... Entre outros. Fora as características harmônicas, ainda existem as características de construção, pois existem inúmeras maneiras e materiais que exploram diferentes frequências, duração, ressonância dentro do instrumento. Isso sem contar com a região de frequências exploradas, numa orquestra por exemplo, existe a família das cordas, composta por: violino, viola, violoncelo e contrabaixo, eles buscam seguir as 4 vozes no coral: Soprano, Contralto, Tenor e Baixo.

Conforme PEREIRA (2013), a relação entre Física e música expõe a competência que a música possui de criar analogias e metáforas, propícias para o

ensino aprendizagem de Física de modo geral. Para o autor, a música está presente nas culturas em vários contextos e, dessa forma, também pode estar presente nas aulas desse componente curricular.

Objetivo desse trabalho é proporcionar uma didática mais intuitiva, demonstrar as ondas sonoras no seu padrão natural e exemplificar algumas aplicações no contrabaixo elétrico. Nesse trabalho foi utilizado o contrabaixo elétrico nas aulas de física, para abordagem dos conceitos de ondulatória. O uso desse instrumento foi considerado por ser tocado através de técnicas como (***Slap*** e ***pizzicato***) que permitem uma exemplificação dessa parte da física.

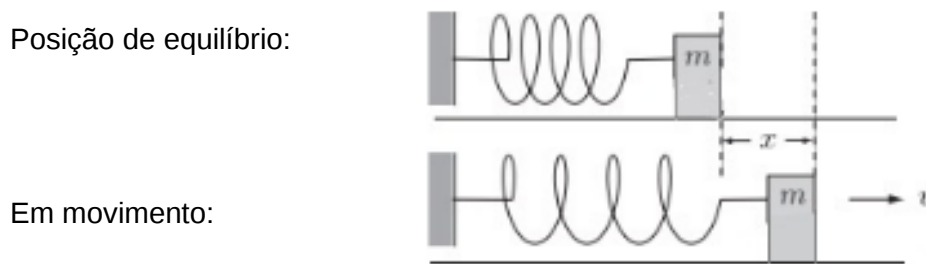
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MOVIMENTO HARMÔNICO AMORTECIDO

O conceito de Movimento Harmônico Amortecido (MHA) se dá pelo movimento periódico de um corpo contendo uma resistência e Oscilações Forçadas (OF) denotam sobre um movimento que é executado num corpo que contém muita resistência.

Para representar fenômenos periódicos Lage, E. (2019) explica que o oscilador harmônico é o dispositivo mais simples capaz de exibir um fenômeno periódico, ainda mais simples que um pêndulo, pois que este se reduz para pequenas amplitudes de oscilação. Experimentalmente o oscilador harmônico é construído por uma mola fixa, acoplada a um corpo de massa qualquer como é demonstrado na figura 1:

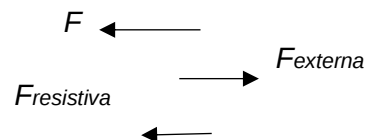
Figura 1: Sistema Massa-Mola



Forças aplicadas ao corpo de massa “ m ”

Força Restauradora: F
 Força Resistiva: $F_{resistiva}$
 Força Externa: $F_{externa}$

Fonte: <https://images.app.goo.gl/92XEe2ePn2bWxot59>



Onde “ x ” é o deslocamento do bloco “ m ” no Movimento Harmônico Simples/amortecido.

Segundo TIPPLER (2010) a equação matemática do oscilador amortecido (Eq.1) vem de uma aplicação análoga da equação do oscilador harmônico simples que parte da organização das forças atuantes do sistema massa mola.

Onde a Força restauradora é a força elástica da mola:

$$F = -kx \quad (1)$$

O sinal negativo na equação significa que a força tem sentido oposto ao deslocamento, isto é, quando o corpo é deslocado da posição de equilíbrio, a força tende a fazer o corpo retornar para esta posição. Com aplicação da 2ª lei de Newton (Eq.2):

$$F = m \cdot a \quad (2)$$

Onde por definição a aceleração:

$$a = \frac{d^2x}{dt^2}$$

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx \quad (3)$$

Ou:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}x = 0 \quad (4)$$

Para oscilações em uma única direção a equação 4 traz uma definição implícita sobre a frequência angular, tal qual é produzida a partir de:

$$\frac{k}{m} = \omega_0^2 \longrightarrow \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (5)$$

O movimento é dito amortecido por atrito e é denominado movimento harmônico amortecido (MHA). Frequentemente, o atrito provém da resistência do ar ou de forças internas e na sua forma mais simples é proporcional à velocidade do corpo e tem sentido oposto a ela. A frequência angular das oscilações amortecidas, representada por ω' , e é dada por (Eq 6):

$$\omega' = \sqrt{\frac{k}{m} - \left(\frac{b}{2m}\right)^2} \quad (6)$$

A frequência angular amortecida é menor que a frequência angular natural, somente na ausência de atrito que o fator b é igual a zero que o valor de ω_0 que é a frequência angular de uma oscilação não amortecida.

Para se obter a equação do MHA usa-se a situação análoga do oscilador harmônico simples (Eq 1). E a força amortecedora $-v\dot{x}$ onde $v = \frac{dx}{dt}$ e b é o fator de amortecimento como por exemplo: Resistência do ar, atrito, viscosidade de um fluido. Então:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx - b \frac{dx}{dt} \quad (7)$$

Ou:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx = 0 \quad (8)$$

Existem 3 casos de MHA, são eles:

- i. Crítico: O sistema não oscila mais e, ao ser deslocado e liberado, retorna para sua posição de equilíbrio sem oscilar.

$$\frac{b}{2m} = \omega_0 \quad (9)$$

- ii. Subcrítico: O sistema oscila com uma amplitude que diminui continuamente.

$$\frac{b}{2m} < \omega_0 \quad (10)$$

- iii. Supercrítico: O sistema não oscila, mas retorna a sua posição de equilíbrio mais lentamente que no caso subcrítico.

$$\frac{b}{2m} > \omega_0 \quad (11)$$

Para manter as oscilações num sistema amortecido é preciso fornecer energia ao sistema. Ou seja, será necessário excitá-lo, no caso de uma onda sonora é necessário fornecer energia para propagá-la. São chamadas de **Oscilações forçadas** aquelas cuja frequência angular é a mesma força externa e não existe frequência de oscilações naturais no sistema, uma vez que o sistema depende da situação que combine a frequência natural e a frequência aplicada.

Quando a frequência da força externa está próxima da frequência natural do sistema ocorre o fenômeno da **ressonância**, no qual se observa que a amplitude da oscilação passa por um máximo.

A equação do oscilador forçado traz a força restauradora: $F = -kx$ e a força osciladora: $-bv$ e ainda acrescenta uma força externa considerada periódica: $F \cos \omega t$, onde F é o valor da força externa e ω é sua frequência angular.

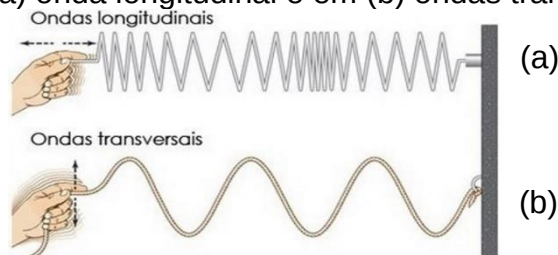
Então:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx - b \frac{dx}{dt} + F \cos \omega t \quad (12)$$

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx = F \cos \omega t \quad (13)$$

Numa Propagação ondulatória, as vibrações podem ocorrer em direção idêntica à da propagação ou em direção perpendicular à dela (Vilas Boas, 2001), essas direções classificam as ondas como longitudinais (figura 2a) e transversais (figura 2b). Quando existe vibrações que ocorrem em ambas as direções, estas são denominadas de ondas mistas.

Figura 2: representação das direções de propagação de ondas.
Em (a) onda longitudinal e em (b) ondas transversais



Fonte: <https://images.app.goo.gl/iKZ3LHab2b2XoJWYA>

2.2 TIPOS DE ONDAS

Conforme NEWTON (2012) a propagação de onda, podem ser de três tipos diferentes de onda:

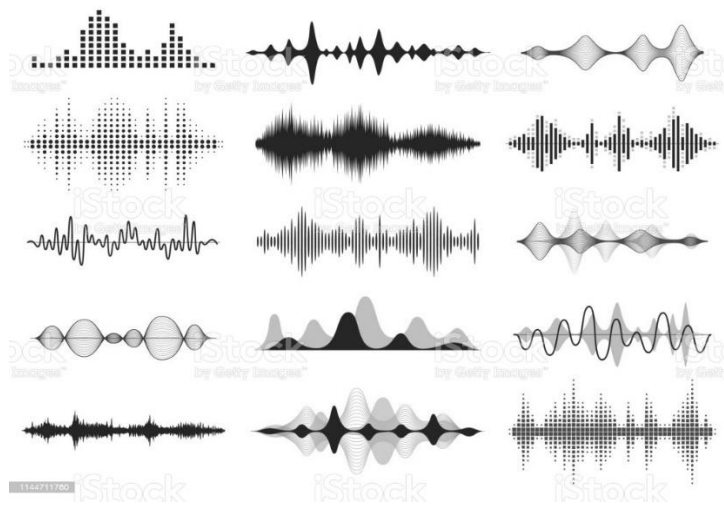
- Unidimensionais – São aquelas que se propagam em uma única dimensão, como nas cordas;
- Bidimensional – Propagam-se em duas dimensões, ou seja, no plano. Um exemplo são as ondas que se propagam na superfície de líquidos.

- Tridimensionais – Se propagam em três dimensões, isto é, no espaço. Ondas luminosas e Ondas sonoras no ar.

2.3 ONDAS SONORAS

Ondas sonoras são ondas mecânicas que precisam de um meio para se propagar, elas contêm uma natureza longitudinal e tridimensional se propagando no ar. As ondas sonoras possuem frequências (de 20 Hz a 20.000 Hz) captáveis ao ouvido humano. Na figura 3 é apresentado as características que as ondas sonoras podem apresentar de maneira espectral ao ser representadas em softwares:

Figura 3: Espectros sonoros



Fonte: <https://images.app.goo.gl/1oDwWNPNqvZSn7LV7>

Conforme Nussenzveig (2002), os sons musicais possuem três características extremamente importantes: Intensidade, Altura e Timbre. A intensidade, para Nussenzveig (2002), permite diferenciar um som do outro a partir do volume, podendo assim classificar como intenso ou pouco intenso. Mesmo usando o artifício do volume, a intensidade se diferencia do volume, pois é a medida quantitativa da onda sonora já que pode ser medida em Decibel (dB). Já o volume é a medida qualitativa, já que influencia muito na onda, gastando mais energia ou não.

A altura é normalmente confundida com a intensidade ou o volume, pois está diretamente ligada com as vibrações que ocorrem no intervalo de tempo. Vibrações essas que oscilam num dado intervalo de tempo, então basicamente a altura tem ligação direta com as frequências, pois através da sua oscilação, sendo mais frequências mais agudo, quanto menos frequências, menos agudo.

Geralmente a altura é definida pelas notas musicais, geradas através de um diapásão com tonalidade de A (com a frequência de aproximadamente 440 Hz). Já o timbre é o som característico de cada instrumento. Cada instrumento trabalha com sons específicos construindo a harmonia conforme a frequências trabalhadas.

Segundo HEWTTI (2015) a equação da velocidade da onda sonora é definida por:

$$V = \lambda \cdot f \quad (14)$$

λ é o comprimento de onda e f a frequência, onde, que é determinada segundo FONSECA (2015) como o inverso do período de propagação da onda $\left(\frac{1}{T}\right)$.

2.4 PROPAGAÇÃO DE ONDAS SONORAS

FUSINATO (2005) determina que a propagação de ondas sonoras consiste na transmissão de energia acústica a partir do movimento vibratório das partículas componentes do meio que, após serem inicialmente perturbadas, passam a atuar como fontes elementares (Princípio de Huyghens-Fresnel), perturbando novas partículas por colisões quase-elásticas e assim perdas dissipativas que ocorrem durante o processo.

As ondas sonoras apresentam comportamento dissipativo com ações de fora que tendem a amortecer o movimento vibratório das partículas, mas também atuam como fonte sonora atuando como força restauradora de energias dissipativas no caso de um oscilador amortecido por exemplo.

FONSECA (2002) afirma que a frequência se refere ao número de ciclos de oscilação da partícula, ou de variações da pressão acústica que equivale à frequência da fonte ou conjunto de fontes que geralmente atuam sobre o mesmo campo acústico, sendo, nesse último caso, o resultado de interações que geram um som composto por várias frequências.

Devido a propagação do som, o movimento oscilatório das partículas gera zona de baixa e alta densidade, daí então apresentam zonas distintas dentro do espectro sonoro, tais quais são chamadas de **frentes de onda** que se propagam tridimensionalmente a partir da fonte sonora. Com a propagação de onda sonoras, há a possibilidade de visualização de alguns fenômenos devido a frente de onda,

fenômenos esses que são chamados de reflexão, refração e interferência, que são causados com a presença de objetos que estão na direção da frente de onda.

Na ausência de obstáculos, a propagação de onda sonora ocorre sem obstrução, com isso é possível visualizar a onda tridimensional na forma esférica, semiesférica e cilíndrica dependendo das características da fonte e mesmo podendo ser considerada plana quando suficientemente distante desta fonte. Geralmente a velocidade de uma onda sonora depende das propriedades elásticas e inerciais do meio que desempenham um papel importante na transmissão de energia sonora, já que corpos elásticos retêm parte da energia que provoca sua deformação.

Segundo FERNANDES (2002), experimentos práticos demonstram que o som se propaga mais rápidos em temperaturas maiores, assim como nos sólidos em relação aos líquidos e nestes últimos, mais rápido que nos gases. Então a inercia e a elasticidade do meio estão relacionadas a variações de umidade, mas principalmente a sua densidade D , pressão P e a temperatura T e a velocidade v :

$$v = \sqrt{1,4 \frac{P}{D} + 0,607T} \quad (15)$$

A variação de temperatura varia no intervalo de -30 e 30° Celsius.

Com o distanciamento das frentes de onda em relação à fonte, ocorre um contínuo aumento das áreas A compostas por essas frentes de onda e como consequência uma diluição por unidade de área de energia propagada tornando a intensidade sonora cada vez menor até não ser mais percebida.

Considerando uma fonte sonora puntiforme a intensidade I sonora diminui com o quadrado da distância d em relação à fonte, assim como a amplitude de oscilação das partículas:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{d_1^2}{d_2^2} \text{ e } \frac{A_1}{A_2} = \frac{d_1}{d_2} \quad (16)$$

Observando que o ar não se comporta perfeitamente como meio elástico, durante a frente de onda vários processos irreversíveis relacionados à viscosidade e condução do calor ocorrem tendo como consequência a uma atenuação da energia sonora, conhecida como absorção clássica.

FERNARDES (2002) afirma que as trocas térmicas provocadas por sucessivas compressões e expansões no meio, produzem calor e como resultado as perdas entrópicas, ligadas proporcionalmente à frequência e inversamente proporcionais à temperatura e a umidade, não estão relacionados à influência da pressão atmosférica.

O processo de troca de calor pode ser considerado adiabático pelo simples fato que em condições normais em que uma onda sonora de 1kHz percorre seu ciclo completo, uma onda de difusão térmica de mesma frequência, percorre uma distância de aproximadamente 70 vezes menor, portanto, considerada desprezível.

Segundo NAPUMOCENO (1968), a equação determinada para a observação desse fenômeno é determinada por:

$$M_m \ddot{\xi} + R_m \dot{\xi} + s\xi = F(t) \quad (17)$$

A eq. 17 representa o comportamento de um oscilador harmônico amortecido-forçado, cujos termos que compõem a força resultante (F) representam, respectivamente, as forças de inércia de atrito e elásticas atuantes no meio de propagação, onde ξ representa a variável de deslocamento da partícula, M a sua massa, R constante de atrito e s a rigidez.

Na reflexão sonora, as ondas encontram uma superfície material, os pontos específicos da matéria ao vibrarem, se transformam em uma nova fonte para onda refletida, por se tratar de uma de uma vibração em comum num determinado ponto em comum dentro. Paredes de concreto, mármore refletem quase que em sua totalidade o som, gerando efeitos como eco e reverberação ambiental.

A refração sonora ocorre devido ao desvio sofrido pela trajetória da onda quando ela passa de um meio (A) para outro (B), com características físicas diferentes, produzindo assim uma variação de velocidade (v) de propagação, pela maior ou menor resistência apresentada pelo meio, conforme a sua impedância, sendo maior ou menor, porém a frequência (f) que depende apenas da sua fonte emissora, não se altera, ou seja, o comprimento de onda (λ) é que será alterado:

Sabe-se que $v = f \cdot \lambda$ e como $f_A = f_B$, então:

$$\frac{v_A}{\lambda_A} = \frac{v_B}{\lambda_B} \quad (18)$$

Adotando o ar e água como exemplos, para o som o ar é mais refringente devido ao coeficiente de refração ser maior, logo sua impedância também é maior, pois a onda sonora se desloca mais rápido no ar do que na água. Como a reflexão, a refração sonora também obedece às mesmas leis comuns a refração ondulatória no que diz respeito a raios incidentes e refratados serem coplanares e os respectivos ângulos (ϕ), logo respeitam a relação Snell – Descartes:

$$n_1 \sin \phi_1 = n_2 \sin \phi_2 \quad (19)$$

2.5 PROPRIEDADE SONORAS DAS CORDAS

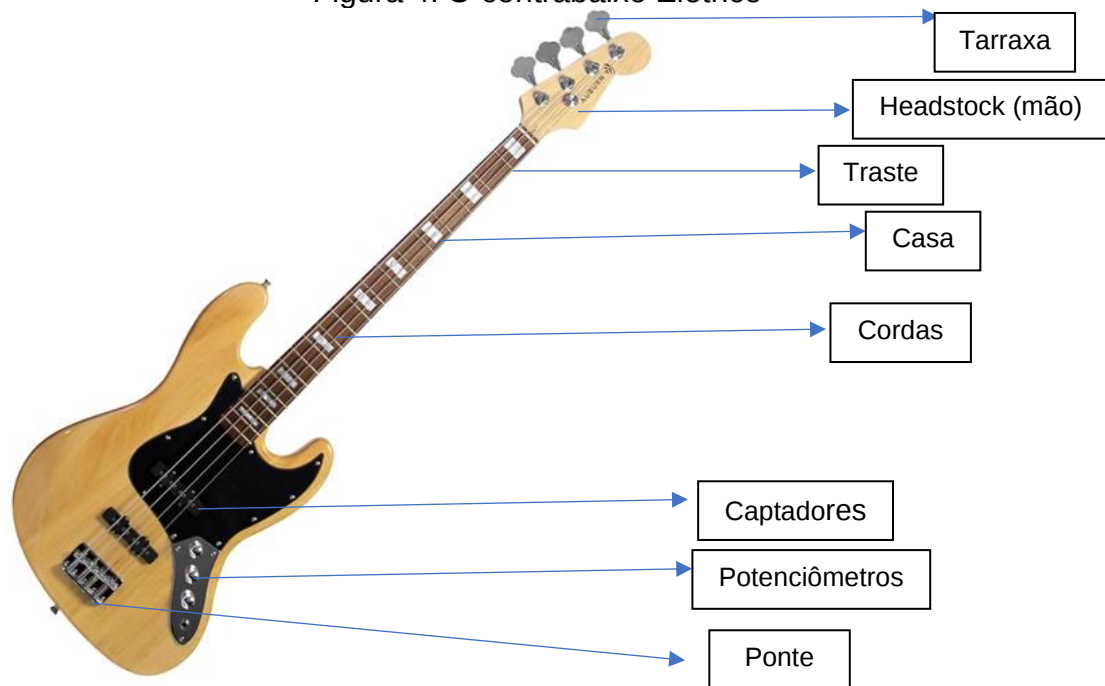
Conforme CATELLI e MUSATO (2014), as cordas tensionadas em um instrumento, realizam efeitos que podem alterar o som reproduzido pelo mesmo, com variações na: afinação, quantidade de cordas, calibre, espessura... entre outros. Por exemplo, para um violão existem variações na quantidade de cordas (violão de 6, 7, 8 e 12 cordas), cada um possui um timbre diferente, apresentando também em sua potencialidade propostas únicas de frequências mesmo em afinações comuns (Mi, Si, Sol, Ré, Lá, Mi).

Porém a afinação muda conforme o desejo do músico, onde ele pode buscar frequências mais específicas que seu instrumento afinado normalmente não pode alcançar. Para um contrabaixo de 4 cordas por exemplo, ao ser usado com a configuração chamada de **Droop** nas suas cordas, pode-se chegar a uma frequência bem mais grave que o normal.

Então, como o mercado expandiu e a necessidade de timbres diferentes aumentou, o calibre de cordas do contrabaixo elétrico varia desde as 0.40 polegadas até as 0.55 polegadas, essa referência utilizando a corda Sol como base, já que é a que possui menos massa no instrumento utilizado.

Existe outro fator ajustável na construção de um instrumento de cordas, chamados de **Harmônicos Naturais** e **Harmônicos Artificiais**, observando a estrutura do contrabaixo elétrico na figura 4:

Figura 4: O contrabaixo Elétrico



Fonte:

<https://images.app.goo.gl/XcomxQofagHvSa8Q>

Quando uma corda é tocada ela não emite apenas uma espécie de som, mas vários sons distintos são produzidos. E a esses sons é dado o nome de harmônicos. Na prática, podem ser encontrados de maneiras naturais ao se tangenciar uma corda com a mão, estando com um dedo da outra mão amortecendo de maneira subcrítica proporcionando uma gama de vibrações ao longo de toda a corda, esses harmônicos naturais podem ser mais presentes nos trates 5,7 e no 12.

Figura 5: Execução dos harmônicos nos trates 5 e 7

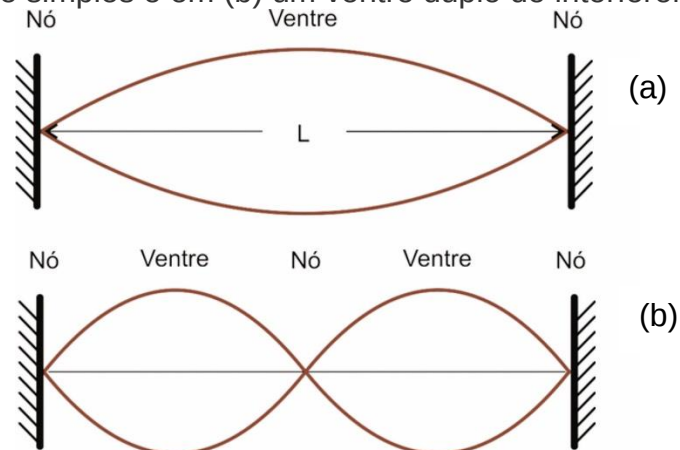


Fonte: <https://images.app.goo.gl/WUmPb6o3Npm372dz5>

Segundo Newton (2012) para se calcular o harmônico natural, usa-se uma variação da equação da velocidade da onda, onde se é considerado o ventre da onda

sonora propagada:

Figura 5: Ventre de uma interferência sonora
Em (a) Ventre simples e em (b) um ventre duplo de interferência sonora



Fonte: <https://images.app.goo.gl/aj4r5xTP1E9kZjsX9>

Onde o comprimento de onda em A será de:

$$\lambda = 2L \quad (20)$$

E a frequência:

$$f = \frac{v}{2L} \quad (21)$$

Para mais de um harmônico na corda tensionada em B é considerado N como o número de harmônicos propagados nessa corda tensionada, esse comprimento de onda ficará caracterizada como:

$$\lambda = L \quad (22)$$

E a frequência como:

$$f = \frac{v}{L} \quad (23)$$

Finalmente a equação final:

$$\lambda = \frac{2L}{N} \quad (24)$$

E a frequência para o segundo harmônico:

$$F = f = \frac{v}{L} \quad (25)$$

Já os harmônicos artificiais são encontrados na outra extremidade do instrumento, na parte do corpo do instrumento, faz-se o uso do polegar como amortecimento subcrítico e tangencia-se a corda com o indicador e médio, diferente dos naturais, aqui o som artificial pode variar muito da posição do polegar.

Figura 6: Baixista destro executando Harmônico artificial

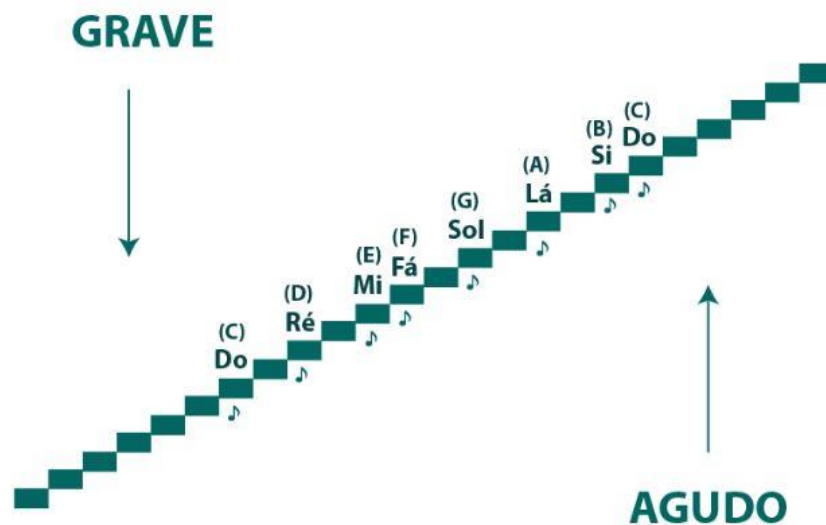


Fonte: <https://youtu.be/13mwtZxAyY>

2.6 CORDAS VIBRANTES

A escala musical normalmente utilizada, chamada escala temperada, por se dividir em 12 semitons e a cada oitava compensar as frequências variando da posição de cada corda, podemos chamar de fator 2, observando a razão de frequências de semitons vizinhos, pode-se adotar a relação de $2^{1/12}$.

Figura 7: Escala ascendente das notas musicais em seus 12 tons:



Fonte: <https://images.app.goo.gl/B1xe4hRyAu9zoigZ7>

Segundo NUSSENVEIG (2002), a equação para fenômenos ondulatórios realizados por instrumentos de cordas pode ser definida como:

$$\frac{\partial^2 z(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 z(x,t)}{\partial t^2} \quad (26)$$

Onde a função $z(x,t)$ comporta o deslocamento transversal no ponto x da corda no instante de tempo t . Chama-se v de velocidade de propagação da onda e considerando uma densidade linear uniforme μ (massa por unidade de comprimento) sujeita a uma tensão T pode-se escrever a velocidade da perturbação na corda como:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (27)$$

A tensão T determinada nas cordas pode variar conforme o uso da tarraxa (apertando ou afrouxando), que tem como função manter o instrumento afinado. Contudo a eq.27 não determina totalmente as características necessárias para entender o problema. A escolha de condições de contorno apropriadas constitui parte importante do modelo teórico. Para se obter diferentes notas musicais, o instrumentista pressiona os dedos entre duas das diversas casas do braço de um instrumento de corda. Ao fazer isso, o comprimento efetivo da corda varia, denotando por L o comprimento efetivo da corda, tomamos que:

$$z(0, t) = 0 \text{ e } z(L, t) = 0 \quad (28)$$

Assumindo assim a corda presa nas das extremidades do instrumento e portanto, uma onda confinada entre $x = 0$ e $x = L$.

Uma propriedade interessante da eq.28 é a sua linearidade. Uma equação diferencial é dita linear se a combinação linear de duas soluções é também uma solução. De acordo com a física, a eq. 28 proporciona uma gama de direções no estudo da ondulatória, inclusive o Princípio da Superposição, abordando a combinação linear com soluções facilmente tratáveis.

Conforme a eq. 26, soluções particulares podem ser encontradas pelo método de separações de variáveis, por fim obtém-se:

$$z_n(x, t) = \text{sen}\left(\frac{n\pi}{L}x\right) \cos(2\pi f_n t) \quad (29)$$

O número inteiro n ($n = 1, 2, 3 \dots$) identifica os diversos modos. A linearidade da eq.28 garante que a combinação destes modos também é uma solução. Frequências f_n , determinadas como frequências normais, se sobreposto num software por exemplo, pode se tornar um espectro de vibrações, ou seja, cordas vibrantes é definida por:

$$F_n = \frac{n}{2L} = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (28)$$

Nessa equação determina-se que $n = 1, 2, 3 \dots$, seja os números de harmônicos possíveis para a corda, T é a tração e μ é a densidade de vibração. A ação das cordas vibrantes se dá pelo estímulo tangencial causado pelo músico, seja usando pizzicato (dedos) o a própria palheta em fios de níquel flexíveis estendidos pelo corpo do instrumento, esses fios (cordas), são sobrepostos em duas bobinas de cobre, usados para rechaçar e produzir corrente elétrica em um circuito, essas bobinas são chamadas de **captadores**:

Figura 8: Capatadores Modelo Single Coil



Fonte: <https://images.app.goo.gl/dXPxgicw18gyoryn9>

2.7 PROPAGAÇÃO DA ONDA SONORA E RESSONANCIA

Conforme NUSSENVEIG (2002), o som se propaga em qualquer meio material seja ele sólido ou fluido. No entanto, no cotidiano das pessoas os sons são identificados com mais frequência na atmosfera, mas também podem ser ouvidos embaixo d'água ou até mesmo no solo, colocando o ouvido na terra podem-se ouvir sons vindos de longas distâncias, como a de um batalhão de soldados marchando.

Só se pode falar de ressonância quando há possibilidade de propagação do som, segundo HEWTTI (2015) a ressonância, constrói uma gama de possibilidades conforme a propagação de uma oscilação, seja ela:

- **Mecânica:** aplicação de forças em um balanço oscilatório, fazendo-o oscilar com amplitudes cada vez maiores;
- **Sonora:** produção de harmônicos por instrumentos musicais;
- **Elétrica:** circuitos elétricos usados em televisões, rádios e celulares utilizam capacitores e indutores que podem ser ajustados para entrar em ressonância com as frequências das ondas de rádio. Dessa forma, é possível captar e aumentar a amplitude dessas ondas, reproduzindo as informações contidas nela;
- **Magnética:** esse tipo de ressonância surge quando se aplica um campo magnético estático e de alta intensidade aos núcleos atômicos. Em seguida, um campo magnético oscilatório faz com que os campos magnéticos dos prótons entrem em ressonância, emitindo uma radiação capaz de produzir imagens nítidas de diferentes tipos de tecidos;

- **Óptica:** surge em cavidades refletoras e pode ser utilizada para aumentar a amplitude da luz, produzindo feixes luminosos de alta intensidade, como o laser.

Segundo LAGE (2019), a oscilação sonora acontece quando uma fonte emissora consegue produzir ondas precisamente próximas as oscilações naturais de um receptor. Essas oscilações naturais também são chamadas de frequência fundamental, produzem harmônicos naturais ou artificiais, que caracterizam o fenômeno da **interferência**, que segundo o qual determina também a produção das notas sonoras e constrói as variações de acordes mostrando assim a consonância e a dissonância dos possíveis.

2.8 NOTAÇÃO MUSICAL

Segundo MELLO (2015), notação musical é o nome genérico determinado para qualquer escrita musical afim de facilitar para o músico que vai executar as linhas, tenha maior facilidade e precisão nas notas proferidas em seus respectivos instrumentos. Atualmente são usados esses 3 (três) métodos:

Partitura que é o conjunto gráfico que fora criado na Idade Média. Está subscrito sobre uma pauta contendo 5 (cinco) linhas que também são chamadas de pentagrama, onde repousa símbolos musicais.

Tablatura é a notação que representa como colocar os dedos num instrumento (nas casas do contrabaixo por exemplo), em vez das notas, permitindo aos músicos tocar o instrumento sem uma formação específica.

Cifra é um sistema de notação musical que indica, através de símbolos gráficos ou letras, os acordes a serem executados por um instrumento musical (como um violão por exemplo)

2.9 SOM MUSICAL

Segundo HEWTTI (2012), o som produz características distintas, e essas características são que irão definir a espécie de som irá aparecer.

- Altura musical é a propriedade do som que permite distinguir sons graves de sons agudos;
- Duração musical é a propriedade do som que permite distinguir sons longos de sons curtos;

- Intensidade musical é a propriedade do som que permite distinguir sons fortes de sons fracos;
- Timbre musical é a propriedade do som que permite distinguir sons gerados por instrumentos musicais diferentes, ou diferentes formas de se tocar um instrumento. Às vezes o timbre é chamado de “a cor do som”

Para se entender basicamente as características do som é necessário entender a composição harmônica que ele produz, essa composição é nomenclaturada de notas musicais. Guido d’ Arezzo fora quem batizou as notas como conhecemos: **DO (C), RE (D), MI (E), FA (F), SOL (G), LÁ (A), SI (B)**.

2.10 HARMONIA FUNCIONAL

Com a construção de harmônicos naturais ou artificiais (notas e acordes), tem-se a invenção da harmonia funcional, que segundo BRISOLLA (2006), a harmonia é o conjunto de notas e acordes que providenciam uma condução sonora de sons periódicos, ou popularmente conhecidos por **música**.

A harmonia funcional proporciona inúmeras possibilidades dentro da música que educam e treinam e condicionam o cérebro fazendo que ele desenvolva a percepção sonora. Essa percepção musical especializada difere de um contexto robotizado proporcionado pela escrita de cifras ou tablaturas, melhorando assim a memorização dos sons propagados e o timbre proposto.

Figura 7: Escala maior na partitura



<https://images.app.goo.gl/fsAk6N6DukkCpGpN7>

Na arte se conceitualiza funcional por defender a obra é justamente ter uma função exterior a si mesma. Já na psicologia, ABBGANO (2007) defende a funcionalidade como: “operação pela qual o organismo entra em relação com o ambiente, o termo não é introspectivo e sim comportamentístico”. Na antropologia, HOAISS (ano) diz que funcionalidade é: “teoria que enfatiza a interdependência

sincrônica dos padrões e instituições de uma sociedade, e o modo como interagem na preservação da unidade social e cultural”.

Segundo FREITAS (2012), a harmonia funcional busca o estudo da relação de acordes descontextualizados com a melodia proposta. Contudo os formalistas defendem que os acordes que desconsideram a melodia danificam a harmonia proposta, porém, tal afirmação não interfere na harmonia funcional, pois a combinação de sons que ela proporciona, se protege de ataques formalistas.

2.11 EQUALIZAÇÃO EM RITMOS

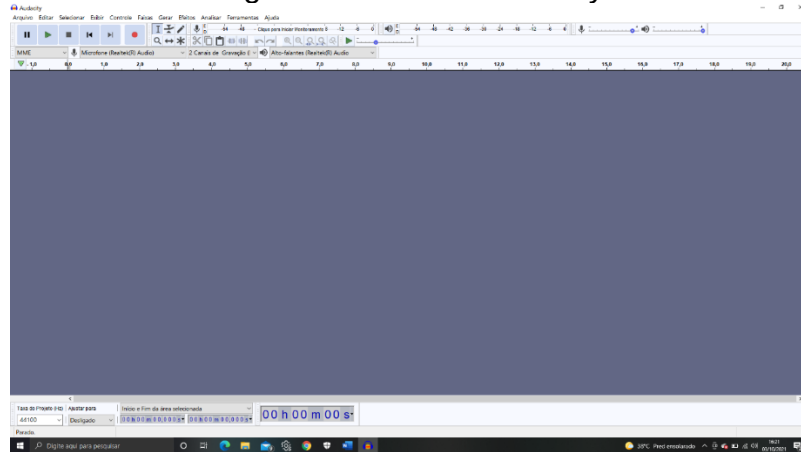
O contrabaixo elétrico possui peculiaridade no que diz respeito ao som que ele produz isoladamente, como discutido antes trata-se de um instrumento que busca e explora frequências graves e fins harmônicos dentro do contexto musical. Embora que dependendo do ritmo ele explore campos de frequências diferentes, como no caso do forró, pagode, reggae, rock... Etc.

Em ritmos como o pagode e forró, é característica ter swing e muito groove dançante, então faz-se necessário uma equalização para fins médio-agudos. Já em ritmos como reggae e rock, exige um grave mais presente por ser estilos mais robustos, aqui pode ser utilizado até o baixo com 5 cordas, para explorar mais grave. Vale ressaltar que existem baixos de 5 e 6 cordas que podem ser ativos e passivos, daí vai da necessidade e de gosto pessoal de cada músico.

3 METODOLOGIA PROPOSTA

Usando a interface de áudio pode-se conectar o instrumento no computador, e usando o software *Audacity* (que tem licença livre para *Windows*) tem-se a demonstração gráfica dos sons através de espectro.

Figura 8: Interface audacity



Fonte: Próprio autor

Para a captação do contrabaixo elétrico, será necessária uma interface de áudio que é um dispositivo que captura o áudio direto da saída de som do contrabaixo elétrico sem interferência externa:

Figura 9: Interface de Áudio UM2 Behringer:



Fonte: <https://images.app.goo.gl/6xaR7pa5Qnz5s9nT8>

A principal ferramenta de ensino será o contrabaixo elétrico de 4 cordas, já descrito anteriormente:

Figura 10: Contrabaixo elétrico:



Fonte: <https://images.app.goo.gl/fcnRfWJrr13axK6GA>

Para demonstrar os fenomenos com clareza física será utilizado uma caixa amplificadora:

Figura 11: Caixa Amplificadora



Fonte: <https://images.app.goo.gl/oRPoSY91euALH8iy7>

4 PROPOSTA DIDÁTICA

Para se utilizar essa forma metodológica de ensino, é recomendado que seja construído um cronograma de aulas teóricas de pelo menos 20 minutos antes da execução, com a finalidade de uma sequência didática, assim pode-se explorar com potencialidade um conteúdo teórico a fim de preparar o aluno para a prática usando o instrumento. Essa sequência busca apresentar esses novos conhecimentos de forma auditiva e visual, por serem as fontes básicas dos modelos mentais analógicos, evitando apresentá-los por meio de proposições, que é a forma mais usual de ensino de física. Nesse sentido, foi essencial o uso de tecnologias educacionais, conforme se descreve mais à frente neste texto. Por se tratar de uma abordagem para ensino médio, não irá ser necessário o uso de equações diferenciais.

Na primeira aula, a apresentação da estrutura do conhecimento sobre as ondas sonoras aos alunos funciona como um organizador prévio, para facilitar a assimilação dos tópicos que serão abordados nela e nas próximas aulas. Os exemplos e as questões motivadoras foram sequenciados de forma progressiva; assim, cada aula exige que o aluno retorne ao conhecimento mais geral da aula anterior e o torne mais detalhado e específico. Ao final da sequência didática, uma proposta de avaliação retoma as ideias de todas as aulas, de forma que os alunos reflitam sobre aplicações dos conceitos abordados, transformem-nos e os relacionem, desenvolvendo a solução de um problema totalmente novo e de caráter reconciliador integrativo.

Para o desenvolvimento da sequência didática proposta, sugere-se a utilização de 6 (seis) aulas simples (de aproximadamente 50 minutos cada), o que se parece proporcional, do ponto de vista curricular, à amplitude e ao nível dos tópicos propostos conforme o quadro 1:

Quadro 1: Sequência de aulas propostas

Aula 1	Oscilações Simples e Amortecida
Aula 2	A Onda Sonora e suas Características
Aula 3	Reflexão, Refração e Interferência sonora
Aula 4	Altura, Intensidade e Timbre
Aula 5	Música: A combinação completa dos efeitos sonoros
Aula 6	Contrabaixo Elétrico: O Instrumento que proporciona pulsação sonora

Ao ministrar as aulas práticas conforme o quadro 2, pode ser utilizado o baixo conectado na interface e ao notebook, juntamente com a caixa amplificadora, assim poderá obter um melhor resultado tanto visual como perceptível aos ouvidos.

Quadro 2: Ementário de Aulas Propostas

Número da Aula	Conceitos e Estratégias Associados
Aula 1	Oscilações Simples e Amortecidas • Apresentação da sequência de aulas com os a serem abordados • Chegar a uma definição de oscilação simples e amortecidas e construir um modelo a partir de uma discussão com a turma.
Aula 2	A Onda Sonora e Suas Características • Retomar o assunto tratado na aula anterior buscando uma nova indagação no conceito de oscilações que já desenvolvemos, apontando para um novo conceito: A Onda Sonora. • Apresentar a representação gráfica do modelo matemático de onda e os parâmetros que a definem: ○ Comprimento de onda. ○ Período e Frequência. ○ Velocidade ○ Amplitude
Aula 3	Refração, Reflexão e Interferência • Retomar o modelo conceitual da aula anterior. • Apresentar exemplos de ondas e tecnologias associadas propondo a categorização e distinção em grupos. • Introduzir as classificações de ondas quanto à natureza e à propagação.

Quadro 2: Continuação

Aula 4	Altura, Intensidade e Timbre • Retomar a interpretação do som como onda. • Questionar e discutir em classe: ○ Como e por que somos capazes de diferenciar sons diferentes? ○ Quais são as propriedades da onda que permitem essa distinção? • Exemplificar os efeitos sonoros da frequência e intensidade das ondas e associar às notas musicais • Apresentar, usando o software Audacity, os diferentes formatos de ondas geradas pelo contrabaixo em diferentes regiões da escala e em cordas distintas para exemplificar.
Aula 5	Música: A combinação completa dos efeitos sonoros • Questão reflexiva: ○ O que é música? • Construção da música: Noções de Melodia, Harmonia e Ritmo • Discursão entre sons harmonicos e sons desarmonicos • Groove: A chave para a dança

Quadro 2: Continuação

Aula 6	Contrabaixo Elétrico: O Instrumento que proporciona pulsação sonora • Questão motivadora: ○ Como funcionam os instrumentos musicais? • Melodia, Harmonia e Ritmo: Função de cada instrumento dentro da música. • História e Construção do Contrabaixo • Pizzicato e Slap – Frentes de propagação sonora • Aplicação prática e observação visual com o Audacity das seguintes músicas: ○ Can't Stop (Red Hot Chilli Peppers) ○ Dark Necessities (Red Hot Chilli Peppers) ○ Águas Profundas (David Quillan) ○ Nós Semeadores (Nós Semeadores) ○ Vigília (Som e Louvor) ○ Billie Jean (Michael Jackson)
--------	---

4.1 PROPOSTA DE AVALIAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Os objetivos dessa sequência didática levam à formação de um sujeito com capacidade de soluções de problemas da vida cotidiana fundamentadas nos conhecimentos físicos. Nesse sentido, propõe-se uma atividade prática, como uma espécie de gincana e realizada em dois grandes grupos, como forma de avaliar se os objetivos das aulas foram alcançados ou quais pontos ficaram carentes de atenção.

Deve ser produzida uma série de questões a serem respondidas pelos dois grandes grupos onde será contabilizado pontos e assim o grupo vencedor irá conquistar um prêmio. Com isso, irá produzir uma interação grande com a classe e produzir assim um desenvolvimento excelente sobre a Física Ondulatória.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É de extrema importância o professor abordar de maneira direta as situações e observações da Física Ondulatória, pois se trata de uma área da Física de suma importância e que atrai a atenção do aluno que busca uma carreira acadêmica do ensino médio para o ensino superior. Ao se abordar esse tema é normal e compreensível uma euforia em sala de aula, pois alguns alunos nunca tiveram um contato com um instrumento antes, e pode também trazer uma nova perspectiva de pesquisa ou estudo de *hobbie*, para que ele se integre no mundo da arte, seja ela na música, dança ou teatro.

A interdisciplinaridade abordada por essa proposta didática é uma chave para a desenvoltura mental e física dos alunos, no que diz respeito a pensar sobre o mundo do som no foco que os mostre de maneira científica, contudo intuitiva, como se comporta as ondas sonoras em alguns de seus potenciais mais elevados, fazendo assim uma forma de abordagem direta através do contrabaixo elétrico.

REFERENCIAL BIBLIOGRAFICO

MACIEL, Alan. **Cordas Vibrantes no Violão**. IFUP. 2018;

BRESSANE, Adriane. **Poluição Sonora: Síntese de Princípios Fundamentais da Teoria Acústica**. V.10. 2010;

FONSECA, Celso Suckow. **A guitarra como um instrumento para o ensino de física ondulatória**. 2015;

FEYNMAN, Richard, **Lições de Física de Feynman**. Vol. 1 Ed. U. 2008;

FUSINATO, V, **Minicurso de Acústica e ruídos**. Apostila (Acústica e Vibrações). UEAP. 2005;

GERGES, N. **Ruído: Fundamentos e Controle**. V.U. 2ª ed. 2000;

HALLIDAY, R. Resnick, e J. Walker. **Fundamentos da Física**, Vol. 3ª, 8ª ed. 2009;

HEWTTI, Paul, **Física Conceitual**, Vol. U, 12ª Ed. 2015;

LAZZARINI, S. N. Y. **Elementos de Acústica**, Apostila (Acústica e Vibrações). Music Department National University of Ireland, Maynooth, 1998;

NEPOMUCENO, L.X. **Acústica Técnica**. São Paulo: Ed Técnica-Gráfica Industrial Ltda, 1968;

NEWTON, Isaac, **Tópicos de Física**, Vol. 2 .19ª Ed. 2012;

PFEIFFER, Patrick, **Contrabaixo para Leigos**, Vol.U, Ed. U. 2012;

PRASS, Alberto Ricardo, **Teorias de Aprendizagem**, Vol. U, Ed. U. 2008;

TIPPLER, Paul, **Física para Cientistas e Engenheiros**. vol.1. 6ª Ed. 2010.

FERREIRA, Camila Caroline, **O Ensino da Estatística Através da Música**. 2015;

POCAY, Márcio Augusto Hansted, **Física e Música: O Uso de Canções Como Ferramenta Auxiliar No Ensino da Física**. 2014;

SILVA, Ellen Pereira, **O Uso da música no ensino da biologia: Experiências com paródias**. 2015;

LUPINETTI, Joice Menezes. **A Utilização da música como ferramenta didática no ensino de cinética química**. 2016;

LAGE, E. **O oscilador harmónico**, Revista. Ciência Elementar, V7(2019)

BRISOLLA, Cyro. **Princípios da Harmonia Funcional**, Annablume. São Paulo. (2006)

FREITAS, Sergio. **Da harmonia pela harmonia: sobre formalismo e seus impactos na ideia de harmonia funcional**, Revista do Conservatório de Música da UFPel. Pelotas. (2012)

HOUAISS. **Dicionário eletrônico da língua portuguesa**. Ed. Objetiva, 2001.

ABBAGNANO, Nicola. **Dicionário de filosofia**. São Paulo: Martins Fonte, 2007