

.....

### Tiago Garcia Ribeiro

Universidade Federal de Juiz de Fora,  
Departamento de Física, ICE,  
Programa de Pós-Graduação em Física,  
Juiz de Fora, MG, Brasil.  
E-mail: tiagrribeiro@gmail.com

### Clarice Parreira Senra

Universidade Federal de Juiz de Fora,  
Departamento de Educação, Juiz de  
Fora, MG, Brasil e Programa de Pós-  
Graduação em Ciência, Tecnologia e  
Educação - CEFET-RJ, Rio de Janeiro,  
RJ, Brasil  
E-mail: claricesenra@yahoo.com.br

### Mateus Antônio Resende

Universidade Federal de Juiz de Fora,  
Departamento de Física, ICE,  
Programa de Pós-Graduação em Física,  
Juiz de Fora, MG, Brasil.  
E-mail: mateus.ufsj@gmail.com

.....

Com o presente estudo, apresentamos uma poderosa ferramenta para o ensino de ondas e dos fenômenos relacionados: o software Audacity, um programa de gravação e edição de áudios com diversas funcionalidades que podem ser utilizadas para que o estudante possa visualizar e estudar as características de uma onda sonora. Ao longo deste trabalho desenvolvemos uma série de atividades com orientações para os professores visando a utilização do software Audacity em sala de aula.

### Introdução

Neste artigo apresentamos uma proposta de atividades que podem ser aplicadas durante a abordagem de ondas sonoras no Ensino Médio. Para contextualizar os conceitos e fenômenos relacionados, utilizamos o *software* Audacity, um programa livre e disponível gratuitamente para descarga [1] que permite a gravação, edição e manipulação de áudio digital. Com as tecnologias de informação e comunicação (TIC), surgem novas ferramentas que permitem auxiliar o professor e suas aulas sobre conceitos e fenômenos físicos, muitas vezes abstratos, que podem ser então representados por meio de simulações e experimentos, permitindo assim que o aluno possa relacionar e interpretar tais conceitos e fenômenos de forma mais clara. Muitas vezes, no entanto, os professores não encontram material de apoio para realizar tais atividades nas salas de aula. Portanto, somente a utilização de um *software* não favorece o aprendizado. É necessário ainda que o professor faça a devida contextualização dos fenômenos e indique as limitações do que se apresenta. É preciso criar condições para que os alunos façam a transição do que é apresentado pelo programa e a realidade estudada [2].

Nesse sentido, desenvolvemos um conjunto de atividades planejadas para auxiliar o professor na abordagem do conteúdo de ondas sonoras na disciplina de física para o Ensino Médio.

### O conceito

O conceito de ondas está relacionado com perturbações que se propagam ao

longo de um meio ou do vácuo. Dentre elas se destacam as ondas sonoras, que se originam de perturbações em meios materiais (sólidos, líquidos ou gasosos), e as ondas eletromagnéticas, que são devidas aos distúrbios gerados por campos elétricos e magnéticos. Essas últimas não necessitam de um meio material para se propagar, deslocando-se até mesmo no vácuo. Ambas as perturbações transmitem energia de um ponto para outro, porém não envolvem o transporte de matéria. No presente estudo, daremos enfoque nos fenômenos relacionados ao som.

Ondas sonoras são produzidas através da vibração mecânica de materiais. Essas vibrações produzem ondas mecânicas que, diferentemente das ondas eletromagnéticas, precisam de um meio para se propagar. Apesar de comumente estarmos interessados na propagação do som no ar, este também pode se propagar em meios sólidos e líquidos. Ao ligar um alto-falante dentro de uma sala fechada é possível perceber claramente a

propagação das ondas através das paredes. Também é comum assistirmos em filmes a utilização do *sonar* (do inglês *sound navigation and ranging* ou “navegação e determinação de distância pelo som”) em submarinos, por meio do qual um instrumento emissor gera pulsos sonoros que se propagam pela água.

Dentre as características de uma onda sonora, destacam-se: frequência, comprimento de onda, amplitude e timbre.

Quando se trata de ondas sonoras em geral, e em especial neste trabalho, estamos interessados em vibrações periódicas, em que há um movimento se repetindo indefinidamente, o que chamamos de ci-

**Com as tecnologias de informação e comunicação (TIC), surgem novas ferramentas que permitem auxiliar o professor e suas aulas sobre conceitos e fenômenos físicos, mas é preciso criar condições para que os alunos façam a transição do que é apresentado pelo programa e a realidade estudada**

culos. Assim, o número de ciclos dentro de um certo intervalo de tempo é chamado de *frequência* da onda. A frequência é o fator responsável por determinar a altura do som. Um som alto é um som com frequência alta, reconhecido como um som agudo. Já um som baixo, de baixa frequência, representa os sons mais graves. O intervalo audível é a faixa de sons perceptíveis ao ouvido humano, compreendida entre 20 e 20000 Hz (ciclos por segundo). O comprimento e o tempo de duração de um ciclo são chamados, respectivamente, de comprimento de onda e período.

A amplitude de uma onda pode ser mais bem compreendida como intensidade. Quanto maior a amplitude da onda produzida, maior será a pressão exercida sobre o ouvido e, portanto, maior será a intensidade sonora percebida. Os níveis de intensidade sonora são expressos em decibéis (dB).

Duas ondas sonoras podem ter as mesmas frequência e amplitude, porém produzirem sons que serão percebidos de maneiras diferentes. Uma mesma nota musical pode ser gerada por uma flauta e um violão, por exemplo, mas as características do som emitido por cada instrumento são bem distintas. Isso porque as ondas podem ter formatos diferentes. Essa diferença é conhecida como *timbre* e é descrita por termos subjetivos como “doce”, “áspero”, “estridente”, entre outros.

No decorrer deste trabalho vamos explorar esses conceitos e os fenômenos a eles relacionados, visando facilitar a abordagem desse tema em sala de aula por parte dos professores do Ensino Médio. Para isso, vamos propor um conjunto de atividades que podem ser realizadas em sala de aula. Nessas atividades, fornecemos uma explicação detalhada dos fenômenos e conceitos envolvidos, juntamente com demonstrações e experimentos que são passíveis de execução em sala de aula por meio da utilização do programa Audacity.

### Audacity - tecnologia profissional aplicada ao ensino

O Audacity é um programa profissional de gravação e edição de áudio com ferramentas que permitem reproduzir, importar/exportar arquivos em diferentes formatos, analisar espectros de frequência, entre outras diversas funcionalidades. Tudo isso em um *software* livre, disponível gratuitamente para download com versões para Windows, Mac e Linux. Os recursos disponíveis aliados a uma interface de fácil manipulação fazem do Audacity uma tecnologia muito promissora no auxílio dos professores de física, prin-

cipalmente no que diz respeito à demonstração e experimentação dos fenômenos relacionados às ondas sonoras.

Para vermos como isso pode ser feito, vamos inicialmente enfatizar dois recursos principais do Audacity para sua utilização em sala de aula. O primeiro deles é o recurso “Gravar”, acionado pelo botão em destaque na Fig. 1. Com esse recurso o professor será capaz de gravar determinado som e automaticamente o programa gera um gráfico correspondente, ou seja, uma representação matemática que caracteriza aquele som, sendo assim possível identificar a frequência e outras características da onda sonora gravada. Para auxiliar nessa identificação, o Audacity conta com algumas ferramentas como “Seleção” e “Zoom”, entre outras, que estão disponíveis em sua janela principal e são de fácil identificação. Para encontrá-las basta passar o cursor do mouse sobre os botões e seus nomes serão exibidos.

A título de exemplo podemos, com um simples uso da ferramenta “Zoom”, notar já de início que o gráfico associado ao som gravado na Fig. 1 auxilia na per-

cepção de um padrão que se repete dentro de um determinado intervalo de tempo. Em seguida, a ferramenta de seleção pode ser usada para selecionar qualquer intervalo do gráfico e o Audacity nos fornece o tempo correspondente dessa seleção, como indicado pela seta na Fig. 1. Com isso, o professor pode determinar em sala de aula o período de uma onda sonora gravada pelo Audacity, que foi emitida por um certo instrumento musical, por exemplo. Veremos nas atividades a seguir como isso pode ser feito em sala de aula com o auxílio do Audacity.

Em sentido contrário, outro recurso valioso do Audacity é o de geração de um tom, ativado pela sequência em destaque na Fig. 2. Uma vez clicando em “Tom” o programa abrirá uma nova janela onde será possível determinar a forma da onda (representação matemática), a frequência, a amplitude e o tempo de duração da mesma. Especificados esses parâmetros, o Audacity plotará um gráfico que representa essa onda e, o mais impressionante, por meio do botão destacado na Fig. 3, ele nos permite gerar o som que essa repre-

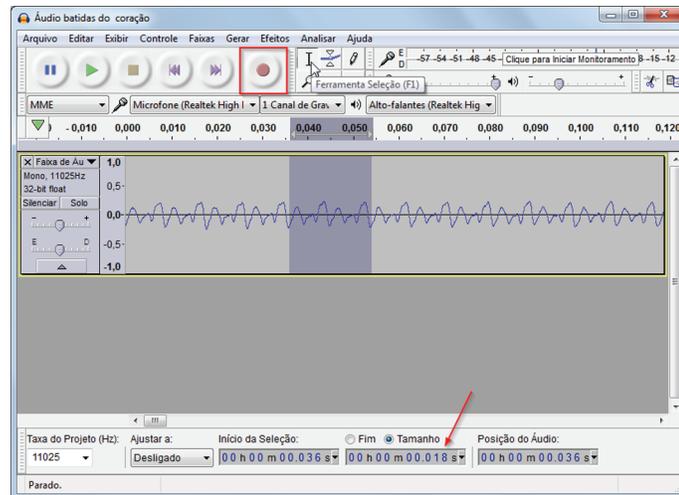


Figura 1: Som emitido pela corda Lá (440 Hz) de um violão.

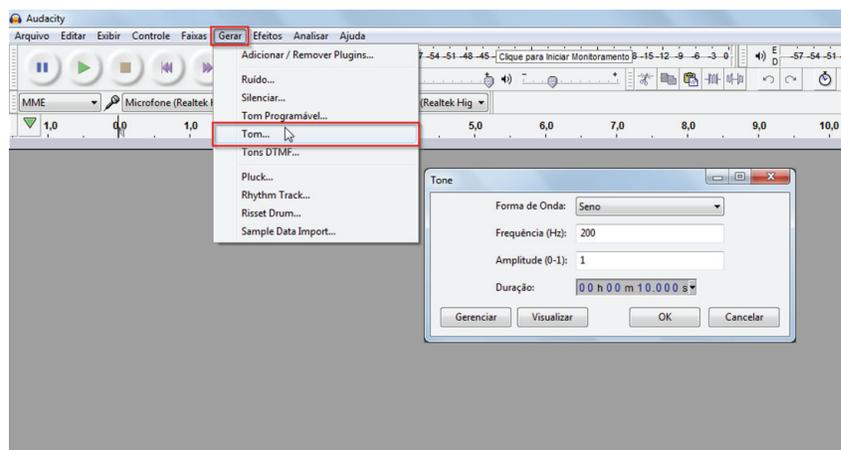


Figura 2: Geração de um som dentro do Audacity.

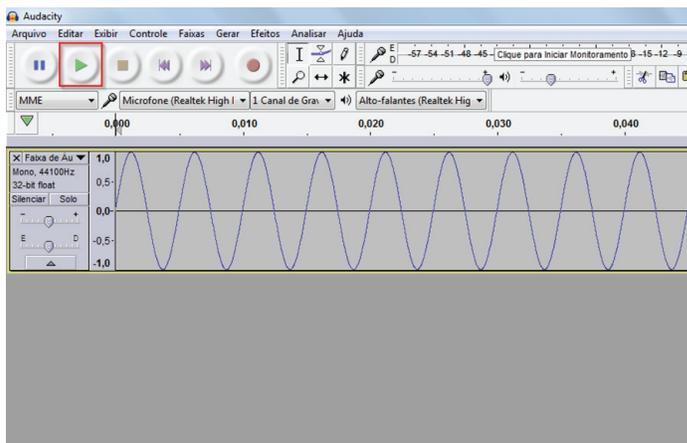


Figura 3. Onda de formato seno, frequência 200 Hz, amplitude 1 e duração de 10 s.

sentação gráfica da onda sonora tem. Esse recurso em especial será de grande utilidade para que o professor possa exemplificar em sala de aula fenômenos como ressonância, interferência e as percepções de altura e intensidade sonora. Nas demais atividades para sala de aula desenvolvidas neste trabalho vamos mostrar como isso pode ser feito no Audacity.

O Audacity obviamente ainda possui muitos outros recursos e ferramentas; vamos recorrer a alguns mais durante o texto, mas outros estão fora do contexto deste trabalho.

### Estratégia de utilização

Será necessário que o professor tenha à sua disposição um computador, um *datashow* (para que todos os alunos possam ver dos seus lugares as imagens geradas pelo programa) e caixas de som para reproduzir os áudios. Quanto melhor for a qualidade das caixas de som utilizadas (como alto-falantes e *home theaters*, por exemplo), melhor será a qualidade do som e a percepção das características de cada onda. Vale ressaltar que a utilização tanto de caixas de som mais profissionais quanto do *datashow* só melhoram a apresentação do conteúdo em sala, não impedindo em nada a realização do experimento na ausência dessas.

Com as atividades propostas aqui, o professor não necessariamente precisará de uma aula introdutória para apresentar os conceitos iniciais aos alunos, podendo fazê-la já dentro das próprias atividades.

### Atividade 1: Relação entre comprimento de onda, período e velocidade

Como uma primeira utilização do Audacity em sala de aula, vamos usá-lo para exemplificar as relações entre a frequência  $f$ , o período  $T$  e o comprimento de onda  $\lambda$  de uma onda sonora. Esse tipo

de onda, ao se propagar em determinado meio, possui um período  $T$ , um comprimento de onda  $\lambda$  e uma velocidade de propagação  $v$ , que estão relacionados por  $v = \lambda/T$ . Da mesma forma, como o período é o inverso da frequência, podemos também escrever  $v = \lambda f$  [3].

O som, ao se propagar pelo ar, possui uma velocidade de aproximadamente 340 m/s. Essa velocidade varia tanto se mudarmos o meio de propagação - por exemplo, na água a velocidade do som é de 1500 m/s - quanto se mudarmos as propriedades do próprio meio, por exemplo, mudanças na temperatura do ar. Contudo, para a maioria dos casos de interesse podemos considerar constante a velocidade do som no ar.

Para exemplificar a utilização da relação entre velocidade, período e comprimento de onda o professor pode em sala de aula realizar a atividade a seguir. Utilizando-se de um diapasão de sopro, facilmente encontrado em casas de instrumentos musicais, o professor pode gravar o som

emitido pelo mesmo com o Audacity. Feito isso, o programa gerará uma representação gráfica desse som, que tem uma frequência bem especificada no diapasão. Com boa aproximação, a forma da onda gerada será similar à encontrada na Fig. 4, se gravada a nota musical Lá de 440 Hz. Feito isso, o professor poderá ampliar e reduzir o gráfico usando as ferramentas "Aumentar Zoom" e "Diminuir Zoom", destacadas na Fig. 4. Dessa maneira, já é possível notar que a onda tem uma forma bem definida que se repete continuamente. O professor pode agora, com o uso do mouse e da ferramenta de seleção, selecionar um único padrão desses, o que corresponde a selecionar um único comprimento de onda  $\lambda$  da onda sonora. O Audacity não informa quanto vale  $\lambda$ , mas aumentando-se consideravelmente o zoom do gráfico é possível identificar, como indicado pelas setas na Fig. 4, os instantes de tempo inicial e final correspondentes a esse comprimento de onda selecionado. O intervalo entre esses instantes de tempo nada mais é que o período  $T$  da onda. Para o caso em questão na Fig. 4,  $T = 0,2694 - 0,2671 = 0,0023$  s.

Uma vez que o Audacity auxilia na tarefa de determinar o período, a frequência da onda pode ser confirmada pela relação  $f = 1/T$ . Fazendo-se isso com base na Fig. 4 o professor, juntamente com os alunos, chegará em  $f = 435$  Hz, aproximadamente. Isso concorda muito bem com o esperado, desde que o som emitido pelo diapasão seja a nota Lá com frequência de 440 Hz. O professor pode ainda determinar o comprimento de onda pela relação  $\lambda = vT$ , usando para isso  $v = 340$  m/s, a velocidade do som no ar. Dessa maneira, o resultado para o comprimento de onda da nota Lá é  $\lambda = 0,78$  m.

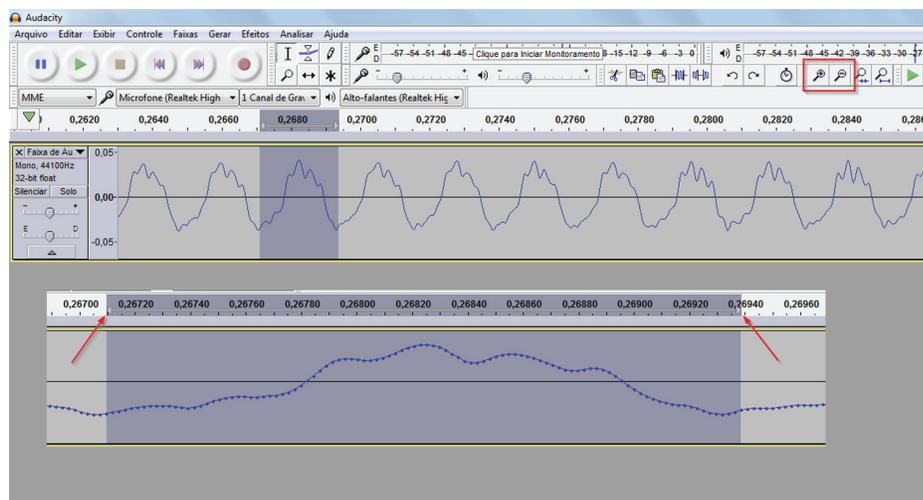


Figura 4: Representação gráfica da onda sonora emitida por um diapasão de sopro executando a nota Lá de 440 Hz, feita pelo Audacity.

## Atividade 2: Altura e intensidade sonora

Vamos apresentar agora uma segunda proposta de utilização do Audacity em sala de aula. Desta vez estamos interessados em usar o programa para exemplificar e distinguir altura de intensidade sonora. Em situações cotidianas é comum usarmos os conceitos de alto e baixo relacionados a um som. Por exemplo, quem nunca reclamou que o som em uma festa estava muito alto? Ou então, quando toca aquela música que você gosta e você corre ao aparelho de som porque diz que o som está baixo. Na verdade, essa utilização de alto e baixo está incorreta. O que caracteriza a altura de um som é sua frequência, que é a responsável por causar no ouvinte a percepção de agudo e grave. Assim, um som alto é um som de frequência alta e um som baixo, aquele com baixa frequência.

Nas situações cotidianas mencionadas, o que queremos dizer é que o som da festa estava muito forte e o aparelho de som emitia um som muito fraco. Esses conceitos de fraco e forte estão relacionados à intensidade sonora. A intensidade sonora diz respeito à quantidade de energia transportada por uma onda que chega a uma determinada superfície. Por exemplo, a orelha de um ouvinte. A intensidade de determinada onda sonora está ligada à amplitude dessa onda. Então, a função de uma caixa acústica é captar a voz de uma pessoa que fala ao microfone ou o som de um instrumento musical e emití-los com uma intensidade, e consequentemente uma amplitude, maior.

Com isso em mente o professor, utilizando-se do Audacity, pode fazer em sala de aula as demonstrações a seguir. Utilizando o recurso de gerar tom do Au-

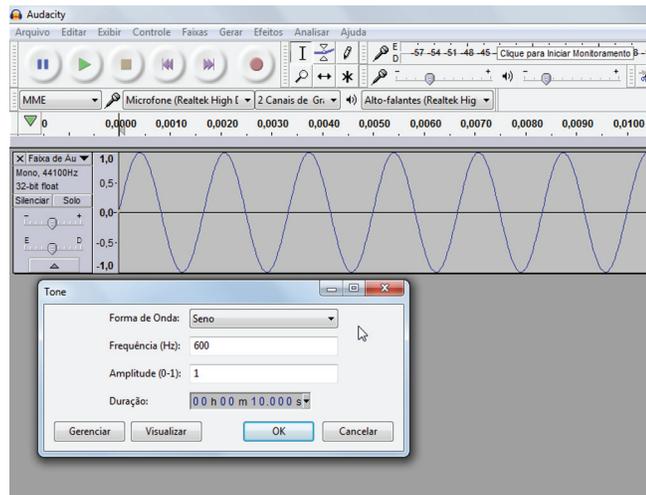


Figura 6: Representação gráfica da onda de 600 Hz no Audacity.

dacity o professor gera, por exemplo, um tom de frequência 100 Hz e amplitude 1, como mostrado na Fig. 5. Em seguida acionando-se o botão reproduzir, indicado na figura, os alunos poderão notar a sensação causada por uma onda sonora de 100 Hz, um som grave. Agora o professor pode gerar um segundo tom dentro do Audacity. Dessa vez é conveniente gerar, por exemplo, um tom de 600 Hz, como mostrado na Fig. 6. Clicando-se novamente no botão reproduzir, os alunos perceberão a sensação causada por um som agudo. Com essa atividade os alunos vão experimentar como é ouvir um som relativamente alto (600 Hz) em comparação com um som baixo (100 Hz). Inclusive, pode-se alterar o volume do aparelho de som usado em sala de aula para evidenciar que o fato de aumentar ou diminuir o volume do som não altera a percepção de grave ou agudo, ou seja, a frequência do som.

Agora, com o intuito de mostrar que

a intensidade sonora está associada à amplitude da onda, o professor pode realizar o seguinte procedimento. Primeiramente, gerar no Audacity um tom de frequência 440 Hz e amplitude 0,5. Em seguida, gerar um tom de mesma frequência, mas amplitude 1, como mostrado na Fig. 7. Nota: para gerar dois tons separadamente no Audacity, o professor deve gerar o primeiro tom normalmente, depois clicar na área indicada pelo cursor do mouse na Fig. 7 e em seguida gerar o próximo tom.

Gerados esses dois tons, o professor pode abordar como as amplitudes diferentes se manifestam na representação gráfica das ondas. O próprio Audacity auxilia nessa tarefa, como pode ser visto na Fig. 7. A amplitude representa o máximo afastamento do gráfico da onda a partir da linha horizontal. Como indicado na Fig. 7, a onda com amplitude 1 afasta-se duas vezes mais dessa linha que a onda de amplitude 0,5. Note que a frequência não se altera.

Agora, para mostrar o efeito sonoro causado pela diferença nas amplitudes das ondas, o professor deve se certificar de que o aparelho de som utilizado permaneça com o volume fixo. Usando o botão silenciar, destacado na Fig. 7, de cada tom gerado, o professor pode reproduzir separadamente cada onda. Reproduzindo-se primeiramente a onda de amplitude 0,5 e logo após a de amplitude 1, com o mesmo volume do aparelho de som, ficará clara a relação entre a intensidade sonora percebida e a amplitude. A onda com maior amplitude é percebida como um som mais forte, enquanto a de menor amplitude exibe um som mais fraco. Essa demonstração deixa evidente que aumentar a amplitude da onda no Audacity é similar a um aumento no volume do aparelho de som, o que consequentemente eleva a per-

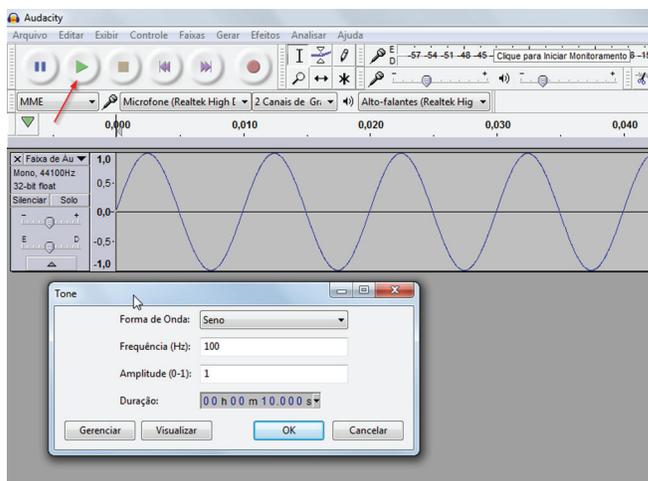


Figura 5: Representação gráfica da onda de 100 Hz no Audacity.

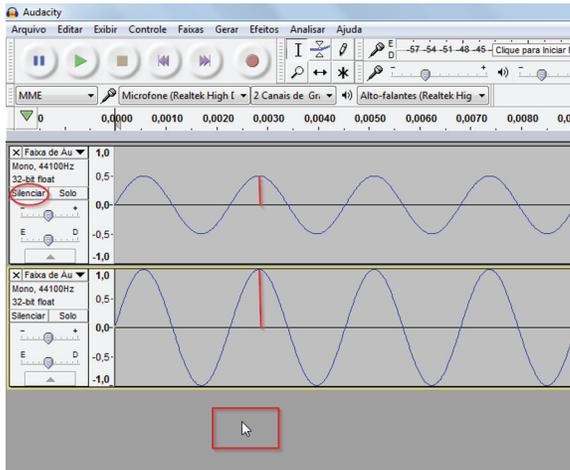


Figura 7: Representação gráfica de duas ondas com frequência de 440 Hz e amplitudes diferentes no Audacity.

cepção da intensidade sonora pelo ouvinte.

O professor pode ainda mostrar que a percepção da intensidade sonora é independente das frequências dos sons emitidos. Ou seja, na demonstração anterior os sons não necessariamente deveriam ter frequências iguais a 440Hz; bastava apenas que eles tivessem amplitudes diferentes. Para exemplificar isso, o professor pode gerar dois tons, um de frequência 80Hz, faixa de frequência dos trovões, e amplitude 1, e outro de frequência 600 Hz, faixa de frequência do zumbido de um pirlongo, mas com amplitude 0,01, como mostrado na Fig. 8. Para o mesmo volume do aparelho de som, executando cada um dos sons separadamente, ficará evidente que o som na faixa dos trovões é muito mais intenso que o som na faixa dos pirlongos, exatamente como acontece na realidade. Os pirlongos emitem um som mais alto (frequência mais alta), porém fraco (menos intenso).

Por outro lado, os trovões emitem um som baixo (frequência baixa), mas muito forte (alta intensidade). Já pensou se o som emitido pelo pirlongo fosse tão intenso quanto o som do trovão?

### Atividade 3: Interferência de ondas sonoras

Nos exemplos de utilização do Audacity em sala de aula que abordamos até agora, sempre geramos e executamos uma determinada onda sonora com características bem estabelecidas. Mas o que acontece se trabalharmos com mais ondas de uma só vez? A resposta a essa pergunta é um fenômeno muito comum no estudo de ondas: a interferência.

A interferência sonora é o que ocorre quando duas ou mais ondas sonoras se superpõem. O resultado dessa superposição pode ser uma interferência construtiva, quando as ondas combinadas produzem uma onda de amplitude maior,

dada pela soma das amplitudes de todas as ondas envolvidas, ou uma interferência destrutiva, quando a onda resultante da superposição tem amplitude menor, caracterizada pela subtração das amplitudes das ondas que se combinam [3].

Em nossa proposta de atividade em sala de aula vamos nos ater a dois exemplos de interferência entre ondas sonoras. São eles: uma interferência construtiva e uma destrutiva, ambas entre ondas idênticas.

Para produzir uma interferência completamente construtiva, o professor pode gerar no Audacity duas ondas idênticas, com amplitudes de 0,5, por exemplo, como mostrado pelas linhas vermelhas na Fig. 9. Agora, utilizando-se do botão silenciar, o professor silencia uma das ondas e reproduz a outra. Em seguida ele retira o silenciamento e reproduz as ondas simultaneamente. Essa demonstração evidenciará a sensação causada pela interferência das ondas sonoras. Será notado que ao reproduzir as duas ondas simultaneamente o som ficará mais forte (mais intenso), porém a frequência continuará a mesma. Para demonstrar isso o professor pode recorrer ao menu “Faixas” do Audacity e selecionar a opção mostrada na Fig. 10. Como destaca a linha vermelha na última onda representada nessa figura, a combinação das duas ondas iniciais gera uma nova onda de mesma frequência, mas com o dobro da amplitude de cada uma delas. Isso acontece porque as ondas que se interferem são idênticas. Geralmente, quando há interferência construtiva dizemos que as ondas estão em fase.

Outro exemplo que pode ser mostrado em sala de aula é a interferência destrutiva de ondas idênticas. Novamente o professor pode produzir duas ondas

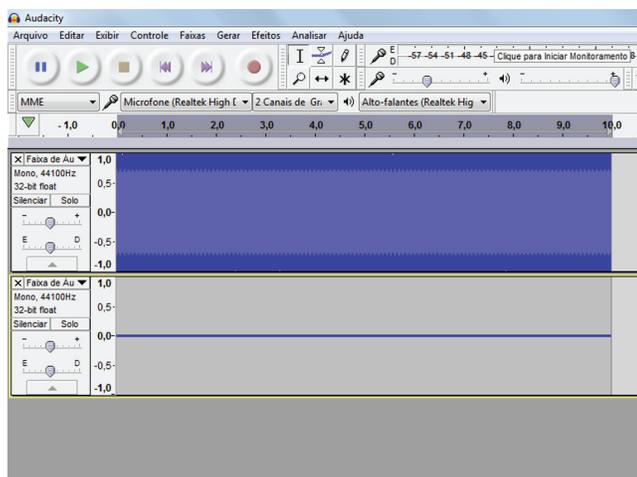


Figura 8: Representação gráfica de duas ondas com frequência de 80 Hz e amplitude 1 (superior) e frequência de 600 Hz e amplitude 0,01 (inferior) no Audacity.

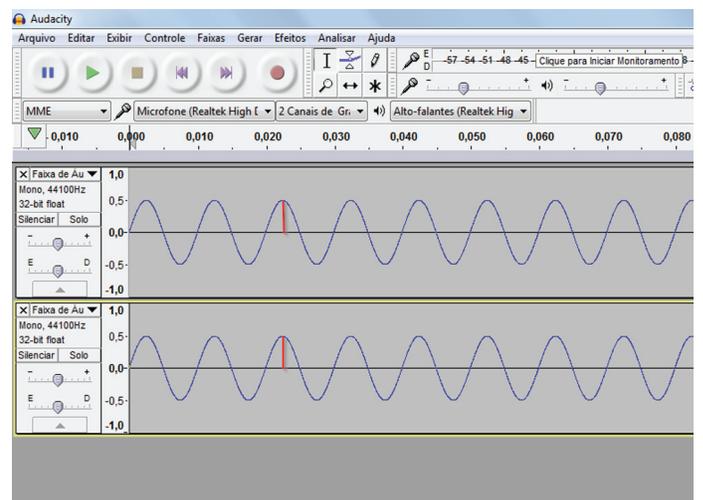


Figura 9: Representação gráfica de duas ondas idênticas em fase no Audacity.

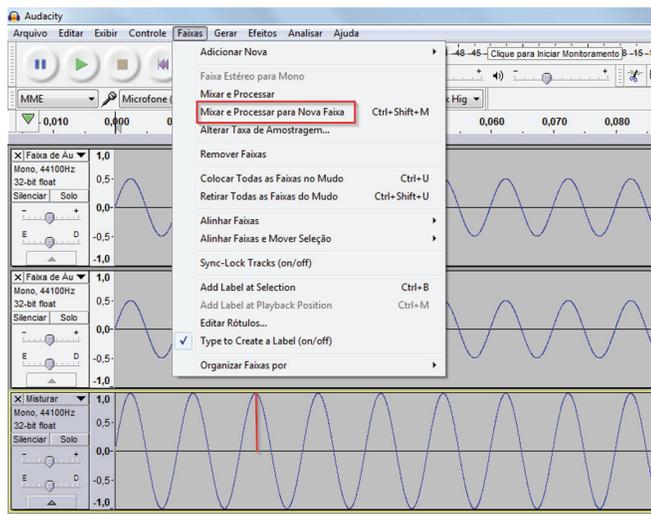


Figura 10: Representação gráfica da interferência de duas ondas idênticas em fase no Audacity.

idênticas como na Fig. 9, mas com amplitudes iguais a 1, que facilitará o que vem a seguir. Usando a ferramenta “Mover” do Audacity indicada pela seta na Fig. 11, o professor será capaz de mover uma das ondas até que elas fiquem posicionadas como se fossem reflexos no espelho uma da outra. O que queremos aqui é que um ponto de máxima amplitude (crista) de uma das ondas coincida com o ponto de mínima amplitude (vale) da outra, como destacado na Fig. 11. Agora, executando cada uma dessas ondas separadamente, poderá ser notado que o fato de mover uma delas não altera em nada sua frequência. Os sons emitidos por elas ainda são idênticos. No entanto, quando o professor reproduzir simultaneamente essas ondas algo interessante será emitido pelo aparelho de som: o silêncio. Isso mesmo, a combinação dessas duas ondas vai gerar uma onda de amplitude nula, ou seja, nenhum som. Para evidenciar isso o

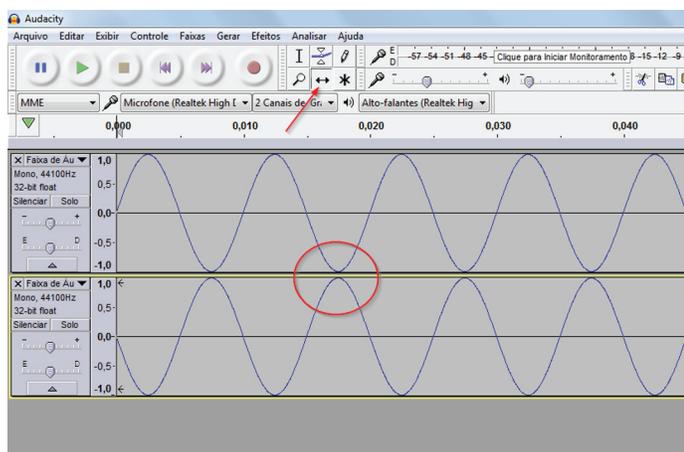


Figura 11: Representação gráfica de duas ondas idênticas em fases opostas no Audacity.

professor pode recorrer ao menu “Faixas” e usar a opção destacada na Fig. 10. O resultado é mostrado na Fig. 12 e as setas vermelhas evidenciam que as amplitudes se cancelam a todo instante, produzindo uma onda sem intensidade. Dizemos que essas ondas estão em fases opostas.

É importante salientar que a interferência sonora é responsável por vários outros efeitos, que envolvem a superposição de ondas com frequências e amplitudes diferentes. Por exemplo, a onda que caracteriza a corda Lá de um violão na Fig. 1 é resultado da superposição de várias frequências de vibração dessa corda. O batimento de ondas sonoras característico da combinação de ondas com frequências muito próximas também é outro exemplo. Este, inclusive, pode ser reproduzido no Audacity com facilidade. Tente isso!

#### **Atividade 4: Fenômeno de ressonância - vibrando a água em um recipiente de vidro**

Quando um sistema físico é posto a vibrar, ele o faz de uma maneira muito peculiar com uma frequência conhecida como frequência natural. Há sistemas físicos que possuem mais de uma frequência natural de oscilação; é o caso, por exemplo, das cordas de um violão. Quando uma única corda de um violão é tocada,

ela vibra não em uma única frequência, mas sim em um conjunto de frequências naturais. A mais baixa dessas frequências naturais caracteriza tal corda e é chamada frequência fundamental. Por outro lado, alguns sistemas físicos possuem uma única frequência natural, como por exemplo o pêndulo de um relógio. Quando um pêndulo desses é colocado a oscilar, a frequência de sua oscilação é única e representa sua frequência natural.

Dito isso, podemos explorar o fenômeno da ressonância. Esse fenômeno ocorre quando um agente externo, por exemplo uma onda sonora, fornece energia a um sistema físico na mesma frequência que a frequência natural, ou uma das frequências naturais, desse sistema. Em virtude desse recebimento de energia, a amplitude de oscilação do sistema torna-se cada vez maior [3]. Para vermos um exemplo disso, vamos imaginar uma pessoa empurrando uma criança em um balanço. Se a pessoa que empurra (agente externo) faz isso de forma descompassada, o balanço atinge pouca altura com relação ao solo, em virtude de ora estar sendo empurrado, ora estar sendo freado. No entanto, se o balanço (sistema) sofre empurrões bem compassados, ele sobe mais e mais, pois os empurrões são tais que proporcionam o alcance de uma altura cada vez maior.

Em mais um exemplo do fenômeno de ressonância, temos uma história muito conhecida sobre a possibilidade de se quebrar uma taça de vidro utilizando somente a voz. A taça de vidro possui uma frequência natural de vibração que pode ser encontrada dando uma leve batida na taça, ou ainda passando o dedo umedecido na borda da taça vazia, fazendo movimentos circulares. Esse som é referente à

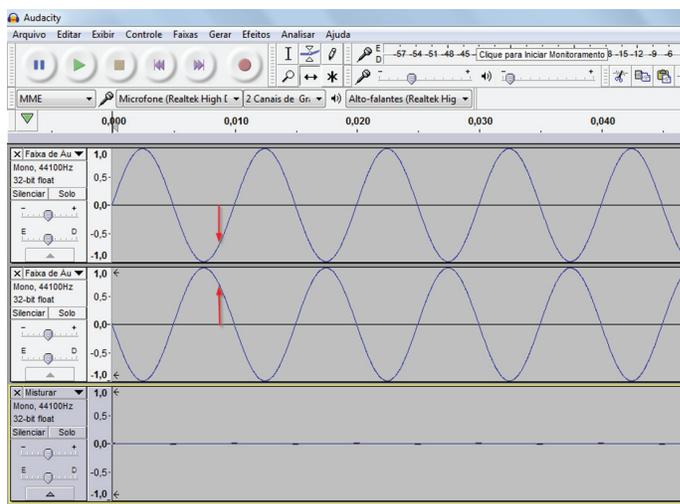


Figura 12: Representação gráfica da interferência de duas ondas em fases opostas no Audacity.

vibração das suas paredes de vidro. Assim, ao se produzir um som com a mesma frequência da frequência natural de vibração da taça, a intensidade das oscilações de suas paredes cresce, dando origem a oscilações com uma amplitude suficientemente elevada que pode ser capaz de fazer a taça se estilhaçar.

Nessa atividade, vamos exemplificar o fenômeno da ressonância observando como a água contida em um recipiente de vidro começa a vibrar quando o som emitido por um aparelho de som entra em ressonância com o recipiente em que ela está.

A experiência de quebrar a taça pode também ser realizada. Para isso, no entanto, deve-se possuir uma taça com paredes muito finas, geralmente de cristal, um aparelho de som capaz de emitir um som muito intenso e ainda um local apropriado. Como essas condições e materiais nem sempre estão à disposição, apresentamos aqui uma atividade similar que pode ser executada com um material de fácil acesso.

Para executar o experimento que propomos aqui em sala de aula, o professor deve primeiramente descobrir a frequência natural referente ao recipiente de vidro com água utilizado. Para isso, o professor deve simplesmente umedecer o dedo e passá-lo levemente na borda do recipiente. Este produzirá um som bem característico em uma determinada frequência. Para descobrir que frequência é essa, basta o professor utilizar o mesmo procedimento descrito na Atividade 1, gravando o som produzido e analisando a onda sonora gerada pelo Audacity.

Feito isso, o professor saberá qual a frequência da onda emitida pela vibração do recipiente de vidro. O próximo passo é gerar uma onda com as mesmas características daquela gravada. O leitor atento deve estar se perguntando por que não utilizar a própria gravação. Isso se deve pelo simples fato de que o microfone acaba por captar outros sons (sons ambientes), gerando ruídos na gravação. Ao utilizar o próprio gerador de áudio do programa, o som emitido será mais limpo e o professor terá maior chance de êxito na execução do experimento.

Uma vez gerada a onda de frequência correta no Audacity, basta o professor reproduzi-la com o aparelho de som próximo ao recipiente de vidro. Mesmo para um som pouco intenso, se a frequência estiver correta, os alunos serão capazes de visualizar que a água dentro do recipiente começa a vibrar, em resposta às oscilações das paredes de vidro, causadas pela ressonância destas com as ondas

sonoras emitidas pelo aparelho de som. Essa vibração da água pelas paredes de vidro em ressonância é claramente mostrada na Fig. 13.

Para salientar que não é para qualquer frequência que ocorre ressonância, e consequentemente vibração da água, o professor pode ainda realizar uma demonstração a mais.

Recorrendo-se ao recurso “Tom programável” do Audacity, no caminho destacado na Fig. 14, o professor poderá gerar um som com frequência variável, que cresce de um valor mínimo até um valor máximo, ambos especificados pelo professor na janela mostrada na Fig. 14. Então, uma vez que o professor já conhece a frequência de ressonância, ele deverá escolher valores de mínima e máxima frequência tais que a frequência de ressonância esteja entre eles. Em seguida, reproduzindo-se o som gerado, os alunos perceberão que inicialmente a água não vibra, mas à medida que a frequência aumenta a água começa a vibrar e atinge um máximo de agitação. Em seguida, à medida que a frequência continua crescendo, a água para de vibrar. Isso evidencia que existe uma frequência específica na qual ocorre a ressonância.

O experimento descrito anteriormente foi realizado pelos autores e o vídeo correspondente encontra-se disponível para



Figura 13: Vibração da água devido à ressonância das paredes de vidro com o som emitido pelo alto-falante. Experimento realizado em casa com equipamentos do dia a dia.

visualização na Ref. [4].

### **Atividade 5: Medida da frequência cardíaca**

De forma análoga ao exame médico de eletrocardiograma, por meio do qual são feitas análises dos sinais elétricos advindos da atividade cardíaca, podemos utilizar o Audacity para analisar as ondas sonoras produzidas pelas batidas do coração.

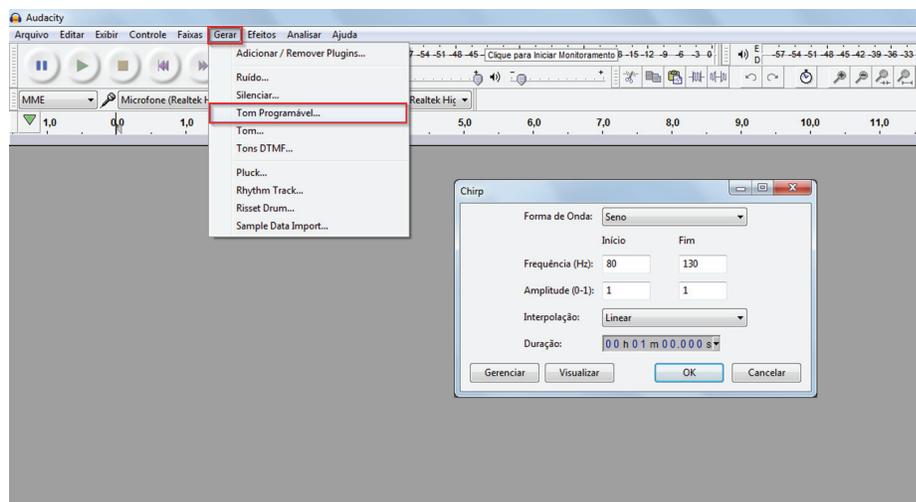


Figura 14: Geração de um tom programável no Audacity.

Os sons cardíacos são produzidos pelo impacto da circulação sanguínea nos vasos e nas estruturas cardíacas. De forma resumida, o som que ouvimos é referente à sístole (período de contração muscular) seguido pela diástole (período de relaxação muscular). O efeito causado pela superposição das duas ondas provoca os batimentos cardíacos que escutamos.

Nessa última atividade, propomos usar a ferramenta “Abrir...” do Audacity. Nela, o programa tem a capacidade de ler conteúdos de diversos formatos apenas importando-os do computador. Existe a possibilidade de o professor gravar o som dos batimentos cardíacos com um microfone, porém, devido à presença de ruídos nas gravações, os resultados apresentados não são tão satisfatórios como a alternativa apresentada a seguir.

Diversos sites dispõem de arquivos de áudio da atividade cardíaca com uma qualidade de som excelente. Tais arquivos podem ser utilizados para fins acadêmicos. De posse de um desses arquivos [5] (deve ser feita a descarga do arquivo de antemão), vamos até o menu “Arquivo”, selecionando a sequência de opções mostradas na Fig. 15. O programa então irá gerar a onda referente ao arquivo selecionado, como é mostrado na Fig. 16.

Nesse ponto, temos a onda de um batimento cardíaco, semelhante àquelas que vemos nos eletrocardiogramas. Novamente, analisando o comportamento dessa onda, de forma análoga ao que foi feito na Atividade 1, podemos selecionar um único ciclo para descobrir qual o período e, por consequência, a frequência da onda. Essa frequência será a quantidade de batimentos cardíacos por segundo. É comum expressarmos essa quantidade em bpm (batimentos por minuto) e, para tal, basta multiplicarmos o resultado por 60.

No exemplo em questão, para os valores indicados na Fig. 16 o resultado é uma frequência de aproximadamente 72 bpm. Esse valor está de acordo com o que é informado no site de origem do arquivo.

### Considerações finais

Um dos principais fatores que impedem a utilização das tecnologias nas escolas, além da ausência dos equipamentos e da infraestrutura adequada, é a falta de conhecimento e domínio das ferramentas tecnológicas por parte dos professores.

Os diversos *softwares* disponíveis permitem ao professor contextualizar e simular uma variada gama de fenômenos físicos. Muito se fala sobre inserir computadores nas escolas, utilizar ferramentas tecnológicas no ensino, mas elas precisam vir junto com a preparação do

professor para utilizá-las. Por esse motivo procuramos, então, de forma detalhada orientar o professor na utilização de uma ferramenta que o auxilie em suas aulas, além de buscar fenômenos e situações presentes no cotidiano do aluno que possam motivar a aprendizagem do assunto abordado.

As atividades descritas neste trabalho possibilitam que o professor trabalhe de forma contextualizada os variados fenômenos relacionados às ondas sonoras, apresentando uma série de finalidades e orientações para a utilização do *software* Audacity. Essas atividades permitem trabalhar conceitos e fenômenos que muitas vezes não são contextualizados, como: intensidade e altura do som, interferência construtiva e interferência destrutiva e ressonância. Nesse sentido, o *software* Audacity permite ao aluno visualizar e experimentar esses conceitos e fenômenos que, sem a ajuda de um recurso adequado, seriam muito abstratos.

### Referências

- [1] <http://www.audacityteam.org/download/>, acesso em 21 de setembro de 2017.
- [2] J.A. Valente, in: J.A. Valente (org.) *O Computador na Sociedade do Conhecimento* (UNICAMP/NIED, Campinas, 1999).
- [3] N.V. Bôas, R.H. Doca e G.J. Biscuola, *Física, Vol. 2* (Saraiva, São Paulo, 2010), 1ª ed.
- [4] Fenômeno de ressonância em uma jarra de vidro. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=Em0C3CKYlnI>, acesso em 5/10/2017.
- [5] Sons de batimentos cardíacos, disponível em [https://en.wikipedia.org/wiki/Heart\\_sounds](https://en.wikipedia.org/wiki/Heart_sounds), acesso em 9/10/2017.

### Saiba mais

- L. Bleicher, M.M. da Silva, J.W. Ribeiro e M.G. Mesquita, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **24**, 129 (2002).  
 Percepções sonoras, link para leitura: [http://www.cienciahoje.org.br/noticia/v/ler/id/2746/n/percepcoes\\_sonoras](http://www.cienciahoje.org.br/noticia/v/ler/id/2746/n/percepcoes_sonoras)

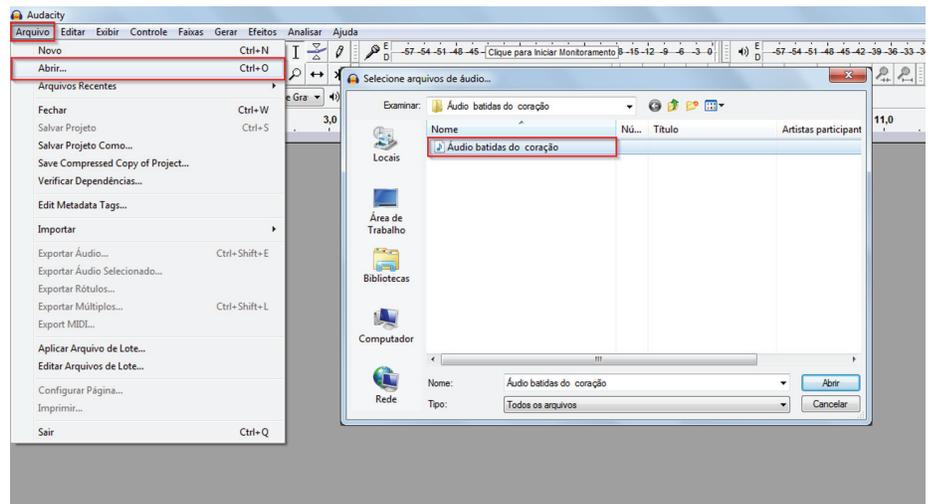


Figura 15: Abrindo um arquivo de áudio do computador no Audacity.

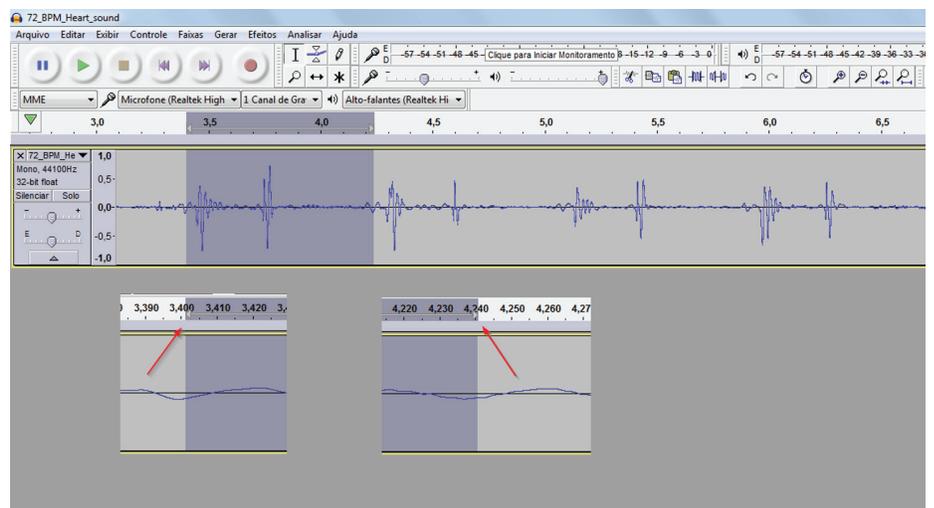


Figura 16: Representação da onda referente aos batimentos cardíacos.