



**CONGRESO
IBEROAMERICANO**
DE CIENCIA, TECNOLOGÍA,
INNOVACIÓN Y EDUCACIÓN

BUENOS AIRES, ARGENTINA
12, 13 Y 14 DE NOVIEMBRE 2014

**CONGRESSO
IBERO-AMERICANO**
DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÃO E EDUCAÇÃO

BUENOS AIRES, ARGENTINA
12, 13 Y 14 DE NOVIEMBRO 2014

Utilização de um programa de gravação e edição de áudio para discussão das características do som

Rodrigues, E.

Utilização de um programa de gravação e edição de áudio para discussão das características do som

Ernani Vassoler Rodrigues

ernanivr@gmail.com

UFES – Universidade Federal do Espírito Santo

Resumo

O presente texto é um compartilhamento de uma experiência didática de utilização em sala de aula, de um programa de computador, originalmente projetado para gravação, edição e mixagem de áudio, como ferramenta para auxiliar a compreensão das características do som, como altura, intensidade e timbre, bem como de alguns fenômenos acústicos como batimento, reverberação e eco. O programa de computador escolhido é o *Audacity*, pois é um programa gratuito, de código aberto, e disponível nas principais plataformas (Windows, Mac OS e Linux), que demanda configurações módicas de um computador e ainda possui uma interface intuitiva, que permite uma fácil instalação e configuração.

1 Introdução

No decorrer da sequência de aprendizados de Física básica, no Brasil, uma parte é dedicada ao estudo de ondulatória, e dentro desta está o estudo de acústica. Fenômenos acústicos nos cercam na vida cotidiana, e o sentido da audição é um importante veículo para a comunicação. Por isso, uma ampla compreensão acerca dos fenômenos acústicos cotidianos e dos mecanismos que os regem, é um dos principais objetivos a serem alcançados durante o trato desse conteúdo da Física em sala de aula. Entretanto, discutir tais fenômenos utilizando apenas o quadro negro ou apenas as imagens estáticas disponíveis num material didático impresso pode não ser suficiente, pois fenômenos acústicos são de natureza dinâmica, são sutis e demandam percepção sensorial (no caso a audição) para seu entendimento.

A experiência aqui relatada discorre sobre a utilização de uma ferramenta prática de aprendizagem, tão simples quanto possível, para vários fenômenos acústicos cotidianos, utilizando um ambiente computacional em sala de aula de ensino médio, fazendo do espaço educacional uma versão rudimentar de um estúdio de gravação de som para facilitar a integração entre a percepção humana, via exibição do formato de onda na tela do computador, que traduz para a percepção sensorial da visão o comportamento ondulatório do som, que tipicamente é recebido auditivamente, e as leis da Física que regem os fenômenos do som.

2 Quadro Teórico

Ferramentas de modelagem computacional podem ser de grande utilidade para a discussão de fenômenos naturais (GOMES & FERRACIOLI, 2006). Especificamente sobre fenômenos acústicos, são comuns os equívocos conceituais a respeito da

propagação sonora, associados a dificuldade de se representar o som (SÖZEN & BOLAT, 2011). Estudos de Whittaker (2012) mostram que há um entendimento por parte dos novatos de que o som é uma substância. De acordo com DiSessa (1993), equívocos a respeito de fenômenos naturais podem surgir quando há de uma tendência em se focar na caracterização estática de eventos dinâmicos, o que dificulta o desenvolvimento do senso intuitivo de mecanismo dos fenômenos. Entretanto, documentam-se melhoras no engajamento e nos resultados de aprendizagem em Acústica, quando se promove um ambiente ativo de aprendizagem, conforme documentado por Neilsen et al. (2012). Notam-se buscas de ferramentas computacionais para facilitação da aprendizagem de ondulatória e da Física do som podem ser vistas na literatura (DIOGO & GOBARA, 2008; PIUBIELLI et al., 2010), ou programas de computador desenvolvidos com esse propósito, e.g. *Batimento* de Silva et al. (2004), dentre outros. Diante desse cenário apresentado, é crível que a utilização do *Audacity* seja positiva e válida no sentido de aproveitar o viés artístico no trato da ciência do som em sala de aula, com uma ferramenta de modelagem computacional, permitindo ao estudante uma experiência engajadora e produtiva.

3 Intensidade do Som

A intensidade de uma onda é a relação que existe entre a potência que essa onda transporta por unidade de área que o vetor de onda atravessa. A definição da unidade de área que o som atravessa pode ter padrões geometricamente complexos dependendo de características da fonte emissora e da forma da frente da onda sonora. O caso mais simples de estudo de intensidade sonora é o caso de uma fonte sonora puntiforme, que propaga pelo ar uma perturbação de frente esférica. Nesse caso a intensidade é dada pela razão entre a potência da onda sonora e a área dessa superfície esférica (YOUNG et al., 2012). Assim, quanto mais próximo de uma fonte sonora puntiforme, menor é o raio da superfície esférica por onde a energia da onda passa. Por outro lado, fixando-se a distância entre a fonte e o receptor do som, a intensidade sonora dependerá da potência do som (associada à amplitude sonora). Para discutir essa característica do som, o programa foi utilizado para gerar sinais com amplitudes diferentes, e que os alunos pudessem comparar a amplitude mostrada na trilha de áudio, com a intensidade sonora percebida.

Abrindo a tela inicial do programa, uma região cinza e vazia aparece, onde estarão as trilhas de áudio, como mostra a Figura 1.

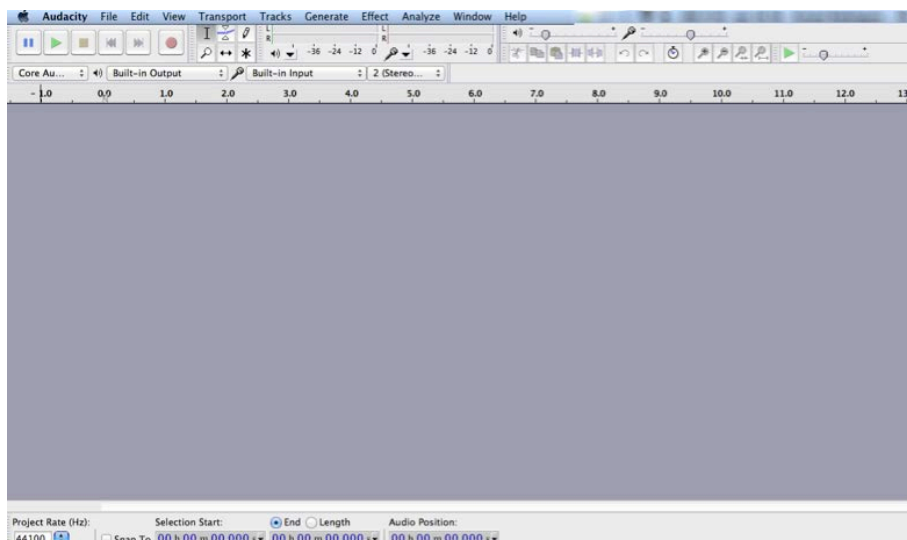


Figura 1. Tela inicial do Audacity.

A opção *Generate* do menu, com sub-menu *Tone* permite gerar sinais sonoros. Uma janela é aberta, como mostra a Figura 2, com as opções de (1) formato de onda, o que interfere no Timbre do som - a opção padrão é de uma onda senoidal, mas pode ser alterada, como faremos ao discutirmos Timbre; (2) a frequência da onda que será gerada, o que interfere na altura do som; (3) a amplitude da onda, variando de 0 a 1, que se refere à intensidade do som; e (4) o tempo de duração da onda que será gerada.

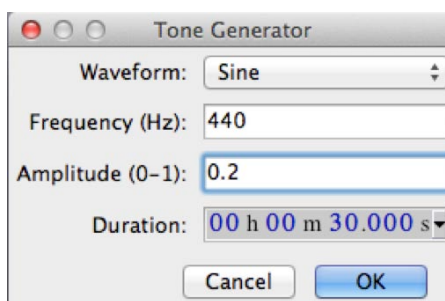


Figura 2. Tela do menu de opções de ondas sintetizadas do programa.

Ao gerar a onda, uma trilha de áudio será criada e a forma de onda será mostrada na tela. Teclando a barra de espaço do teclado do computador, o som tocará nos auto falantes. A trilha que aparece na tela, mostra uma senóide, que com a ajuda da lupa de zoom na barra de ferramentas, pode ser explorado ampliando-se e reduzindo-se a escala da forma de onda, conforme pode ser visto na Figura 3.

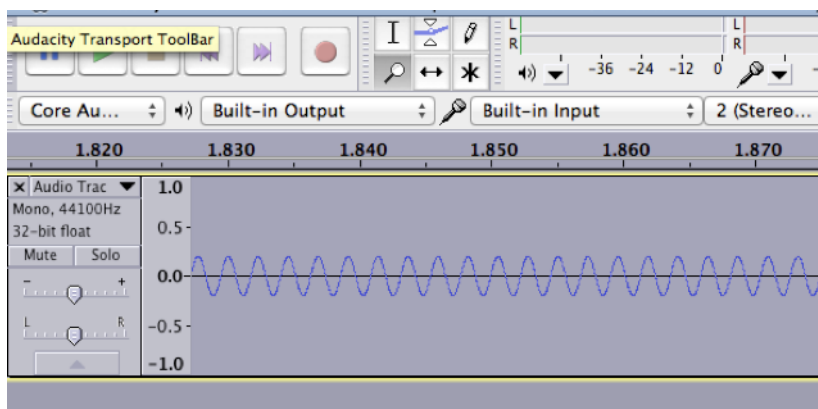


Figura 3. Forma de onda sintetizada, gerada pelo Audacity.

Para que seja feita uma comparação, é necessário abrir uma segunda trilha de áudio, sem que a primeira seja fechada. Para isso, no menu *Trilha*, deve-se escolher uma nova trilha de áudio. Na nova trilha de áudio, repete-se o processo de geração de onda descrito acima, e escolhe-se uma onda de mesma frequência, porém com outro valor de amplitude. Como a primeira onda tinha amplitude 0,2 (Fig. 3), escolhemos uma nova onda, por exemplo, com amplitude 0,5. Novamente vamos criar uma terceira trilha de áudio e gerar uma nova onda, agora com amplitude 0,9. As três ondas serão mostradas nas trilhas de áudio do programa. Veja a Figura 4.

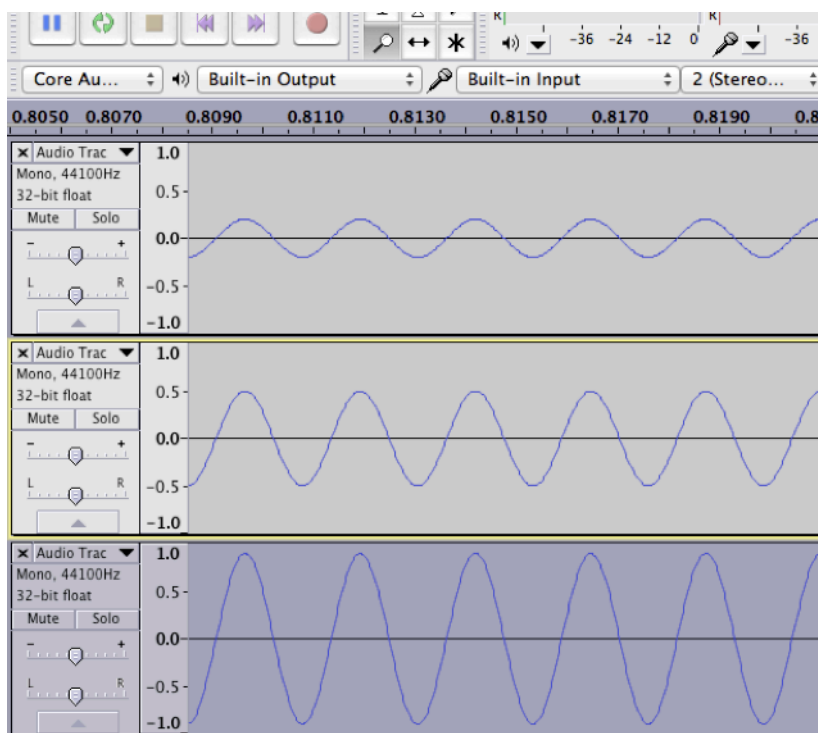


Figura 4. Três ondas senoidais sintetizadas com amplitudes diferentes, nas trilhas de áudio no Audacity.

Utilizamos a tecla *so/lo* (na tela), em cada uma das trilhas, permitindo que apenas a trilha em questão emita som. Assim, vemos a diferença de intensidade do som, em função da diferença de amplitude da forma de onda na trilha. Solando apenas a primeira trilha, e teclando a barra de espaço do teclado do computador, os alto-falantes emitirão um som fraco, de baixa intensidade. Teclamos novamente a barra de espaço para que a onda pare de soar. Agora, tiramos a tecla *so/lo* da primeira trilha e fazemos o *solo* da segunda trilha de áudio. Teclando novamente a barra de espaço, o som da segunda onda soa, e é sensível o aumento da intensidade do som. Barra de espaço novamente para o som parar. Tirando a tecla *so/lo* da segunda e solando-se a terceira trilha, é mais notável ainda o aumento da intensidade sonora.

Há que se ressaltar aqui, que a onda sonora se propagando no ar é uma onda longitudinal, com zonas de compressão e zonas de rarefação do ar. A representação na tela do computador da forma de onda nas trilhas do programa é uma analogia da amplitude (eixo das ordenadas) com a excursão de um alto-falante para frente e para trás, comprimindo e rarefazendo o ar, em função do tempo (eixo das abscissas). Com isso, a distância entre duas cristas de ondas adjacentes na tela, não representa o comprimento de onda, mas sim o período da onda. Os alunos tem aqui a oportunidade de utilizar a régua de tempo do programa para a discussão e cálculo do período da onda, que é inversamente proporcional à frequência, pois as ondas de frequência maior apresentarão na linha do tempo um período menor. A representação gráfica variação da posição do alto-falante em função do tempo não pode ser confundida com a típica representação de abscissas e ordenadas de uma onda transversal numa corda, por exemplo. Guardando essa diferença com clareza é possível lançar mão da forma de onda das trilhas de áudio, chamadas de *waveform* para se ter uma modelagem visual de um fenômeno que é tipicamente auditivo.

4 Altura do Som

Em linguagem cotidiana, é usual que se faça uma associação do termo “altura do som” com sua intensidade, com seu volume. Porém, em Física, a noção de som alto ou som baixo é associada a sua frequência. Por exemplo, para cada nota musical há uma frequência própria associada (YOUNG et al., 2012). A frequência de 440Hz, por exemplo, corresponde à nota musical *LÁ* de número 4, num teclado de um piano - A4 (OWSINSKY, 1999). Em Física, um som baixo também é chamado de som grave, e isso significa uma série de ondas de compressão do ar com frequência baixa. Por outro lado um som alto, também chamado de agudo, é uma série de ondas de frequência alta. Com os termos alto e baixo são relativos, é corriqueiro que se estabeleça uma faixa de frequências que separe graves, médios e agudos ou até outras subdivisões do espectro de frequências audíveis, muitas vezes atribuindo adjetivos às frequências do som (OWSINSKY, 1999), como mostra a Tabela 1.

Tabela 1. A utilização de adjetivos para se referir a determinadas faixas de frequência é uma forma utilizada para transportar para linguagem escrita ou falada a percepção auditiva de um fenômeno natural.

| Faixa de Frequência | Adjetivo Atribuído |
|--|--------------------|
| $f < 60 \text{ Hz}$ | Subgraves |
| $60 \text{ Hz} < f < 250\text{Hz}$ | Graves |
| $250 \text{ Hz} < f < 2000 \text{ Hz}$ | Médios-Graves |
| $2000 \text{ Hz} < f < 4000 \text{ Hz}$ | Médios-Agudos |
| $4000 \text{ Hz} < f < 6000 \text{ Hz}$ | Presença |
| $6000 \text{ Hz} < f < 20000 \text{ Hz}$ | Agudos |

Por essa atividade, a sugestão é gerar várias ondas de mesmo formato (escolhemos arbitrariamente o formato senoidal), de mesma amplitude, porém com frequências diferentes, para que se mantenham todos os parâmetros e apenas a altura do som, ou seja, apenas sua frequência, seja alterada. O procedimento é o mesmo da atividade anterior, porém tomamos uma amplitude 0,5 para todas as ondas, e as frequências escolhidas foram 350Hz, 450Hz, 550Hz, como pode ser visto na Figura 5.

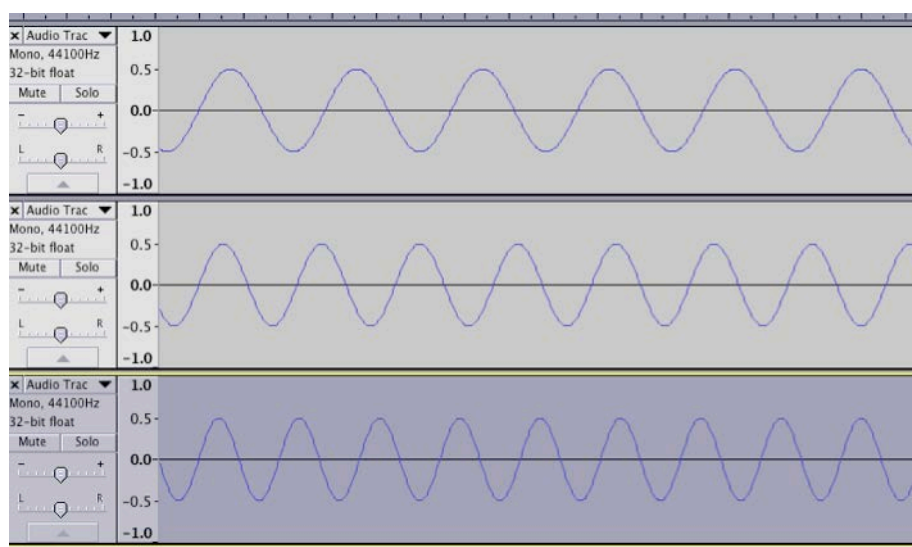


Figura 5. Três ondas senoidais sintetizadas com frequências diferentes, nas trilhas de áudio do *Audacity*. A visão das formas de onda, mostra que a primeira trilha, por ter menor frequência tem menos cristas a cada segundo, já a mais de baixo, por ter maior frequência, tem mais cristas a cada segundo.

Para verificar a diferença de altura (frequência) em cada uma delas, utilizamos a tecla *Solo* da mesma forma descrita no item 3. Outras ondas podem ser geradas, com som bem mais agudo, de frequências acima de 10000Hz, ou com som bem grave, abaixo de 150Hz, mas alguns alto falantes não reproduzem sons nos extremos do espectro

sonoro.

aluno, durante a aula, e manipular um efeito sonoro, nativo do programa *Audacity*, chamado *Change Pitch*, disponível na barra de opções *Effect*. Esse efeito permite que se torne a voz previamente gravada mais grave (baixo) ou mais aguda (alto) que a voz original, com resultado sonoro capaz de arrancar boas gargalhadas, tornando essa discussão fenomenológica interessante e divertida.

5 Timbre do som

O timbre é o aspecto qualitativo do som. É a identidade sonora. Está intimamente ligado ao instrumento emissor do som. Como tal, é comum usarmos todo tipo de sinestesia como figura de linguagem para descrever o timbre, desde “som aveludado”, “som áspero”, “som agressivo”, “som velado” entre outros. A distinção do som, pelo timbre está ligada à forma da frente de onda do som, à presença de harmônicos - de sobre-tons - e especialmente à variação de pressão do ar em função do tempo. Essa variação de pressão do ar no tempo é chamada de *envelope* do som (RUSS, 2004), que determina de que forma o som começa (ataque) e de que forma o som termina (decaimento) (YOUNG et al., 2012).

Para esta atividade, geramos ondas sonoras sintetizadas, de mesma amplitude, mesma altura (frequência) porém, com formatos de envelopes diferentes. Na opção do formato de onda, geramos três ondas sonoras de 500Hz, amplitude 0,5 sendo uma com formato senoidal, uma com formato quadrado, e outra com formato dente de serra para a percepção da qualidade sonora de cada uma delas. Vejamos na Figura 6.

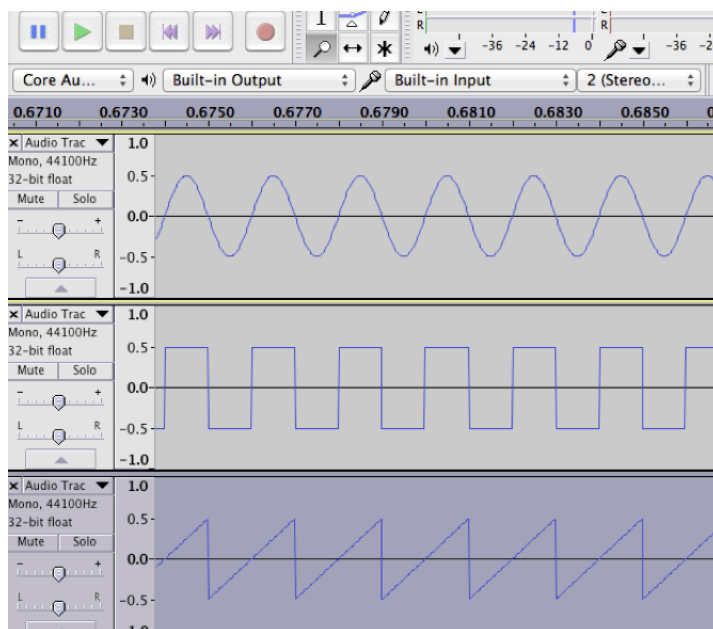


Figura 6. Três ondas sonoras de mesma frequência e mesma amplitude, mas com diferentes formatos, indicando diferentes variações da amplitude no tempo, e determinado com isso, diferentes timbres.

Da mesma forma feita anteriormente, solamos cada uma das trilhas de áudio, e discutimos a percepção de como o envelope da onda muda o aspecto qualitativo do som. É possível gravar em trilhas de áudio, diferentes instrumentos musicais, tocando a mesma nota musical (mesma altura) mas soando com timbres diferentes, devido à presença de diferentes sobre-tons e diferentes envelopes sonoros.

Aqui, quatro diferentes instrumentos musicais foram gravados, todos eles tocando a mesma nota, o lá número quatro, que corresponde à frequência de 440Hz. A Figura 7 mostra a forma de onda de cada um deles.

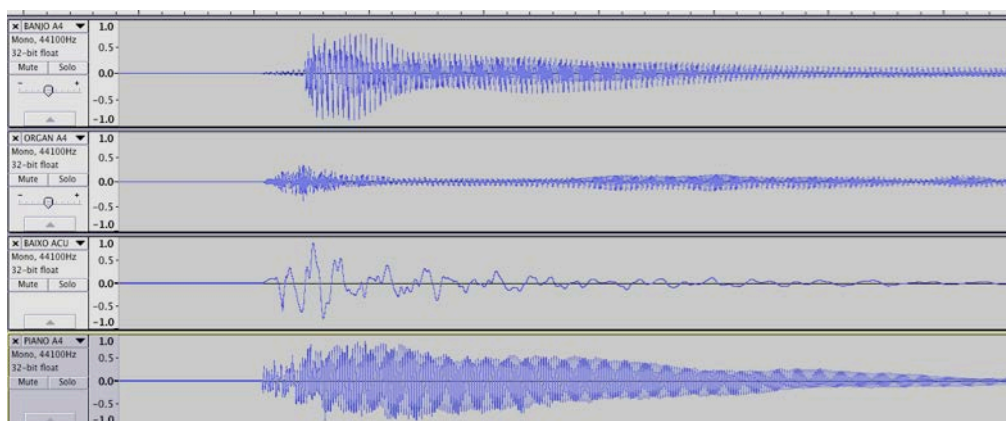


Figura 7. Quatro exemplos da mesma nota musical tocada por diferentes instrumentos, onde se representa visualmente a diferença de timbre de cada instrumento utilizado. Na primeira, a superior, o som de um banjo, na segunda o som de um órgão elétrico, na terceira, o som de um contrabaixo acústico e na quarta o som de um piano.

As amostras utilizadas neste exemplo estão disponíveis para download em <https://soundcloud.com/ernani-vr>.

6 Batimento Sonoro

O fenômeno acústico do batimento é parte da discussão de fenômenos ondulatórios ligados à interferência de ondas. A abordagem matemática de situações problema ligadas ao batimento é deveras simples, uma vez que o cálculo da frequência de batimento é dado pela diferença de frequências das duas ondas (YOUNG et al., 2012).

$$f_{BAT} = |f_B - f_A|$$

É sutil a ocorrência do batimento quando, por exemplo, um avião bimotor começa o processo de ignição, acelera um dos motores, e posteriormente acelera o outro motor, pois as duas hélices giram ligeiramente dessincronizadas apenas por um curto

intervalo de tempo, logo depois se sincronizam, e o batimento não é mais percebido. Num outro caso, poucas pessoas já tiveram a oportunidade de presenciar uma sessão de afinação de um piano para perceber a ocorrência do batimento nas cordas duplas ou triplas do piano, quando as mesmas estão vibrando ligeiramente desafinadas. Num outro exemplo, a viola caipira, um instrumento muito comum na musica popular brasileira, possui cordas em duplas, e algumas delas devem vibrar na mesma frequência para que a afinação esteja correta, e quando isso não ocorre, o batimento é notável. Em todos esses exemplos e em outros, pode ser difícil criar o ambiente adequado em sala de aula para que fique explícito ao aluno quando e como ocorre o batimento. Mais uma vez, o programa *Audacity* foi utilizado para elucidar esse fenômeno.

Quando duas séries de ondas oscilam com frequências próximas, é possível que ocorre em alguns instantes interferências construtivas dessas ondas e em outros instantes, interferências destrutivas das mesmas. Em se tratando de som, isso significa que se dois sons possuírem frequências parecidas, mas não idênticas, de tempos em tempos o ouvinte perceberá o som mais intenso, nos instantes de interferência construtiva e da mesma forma de tempos em tempos o ouvinte perceberá o som menos intenso, devido às interferências destrutivas. Caso as séries de ondas sejam de frequência constantes, o batimento será um fenômeno periódico, e é possível investigar quantos reforços sonoros ocorrem a cada unidade de tempo, ou seja, a qual é a frequência com a qual os batimentos ocorrem.

Para esse fenômeno, geramos duas trilhas de áudio com duas ondas sintetizadas, e escolhemos uma segunda onda de frequência próxima da primeira. No exemplo, a primeira onda gerada é de formato senoidal e tem frequência de 440Hz, a outra, também senoidal tem frequência igual a 442Hz. As duas trilhas de áudio aparecerão juntas na tela, uma em cima da outra. Veja a Figura 8.

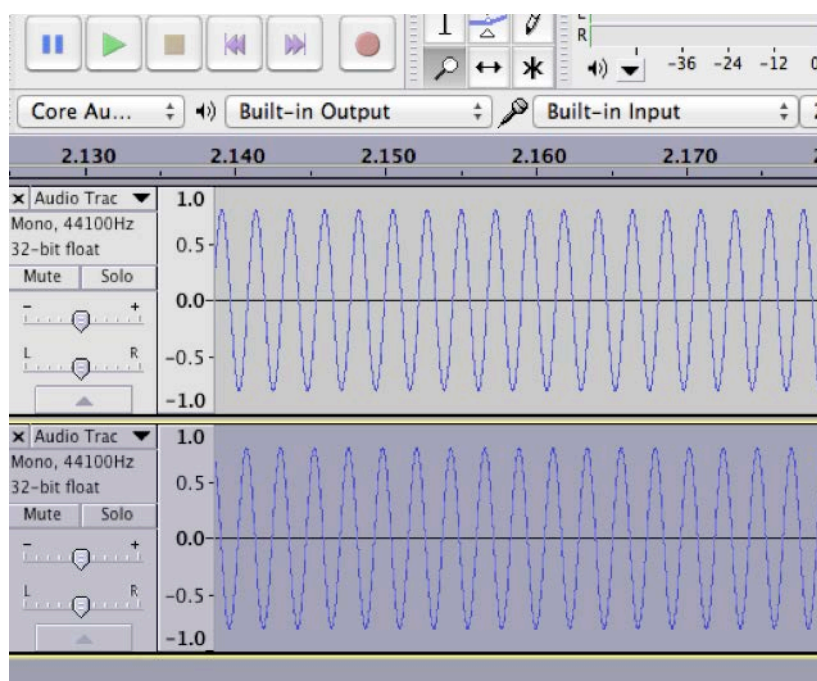


Figura 8. Duas ondas senoidais de frequências próximas, nas trilhas de áudio do programa.

Observando-se agora as duas trilhas de áudio notam-se, em alguns pontos, uma diferença de fase entre as duas. É essa diferença de fase que é a responsável pelo fenômeno, pois de tempos em tempos ocorre coincidência da crista de uma onda com a crista da outra ou de uma crista com um vale. Adequando-se o zoom pode-se mostrar onde isso ocorre, conforme Figura 9.

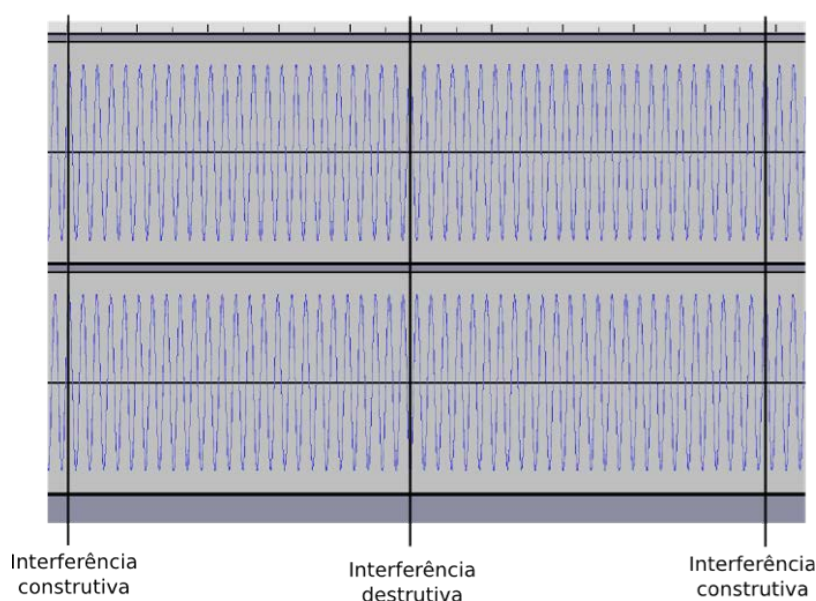


Figura 9. Devido à diferença de frequência, são destacados os pontos de interferência construtiva e os pontos de interferência destrutiva.

Como o módulo da diferença entre as frequências é igual a 2 Hz, ao tocar as duas trilhas de áudio simultaneamente, serão ouvidos dois batimentos por segundo, confirmando que a frequência do batimento é igual à diferença de frequência das ondas. Clicando-se a tecla solo em uma das trilhas de áudio, podemos perceber apenas o som de uma delas, e neste caso, haverá ausência do fenômeno de batimento. Desfazendo o solo o batimento reaparece, e tornando o solo no som da outra trilha, o batimento novamente não é percebido. Essa etapa mostra que o fenômeno do batimento é inerente à interferência de duas ondas sonoras de frequências próximas, e não pode ocorrer com apenas uma onda sonora. No comando *misturar e renderizar* do menu de opções, o programa cria uma onda sonora só, resultante da superposição das duas ondas. O aspecto resultante da soma das duas ondas, mostrado na Figura 10, contém pontos onde a intensidade sonora se anula, intercalando pontos onde a intensidade sonora se reforça.

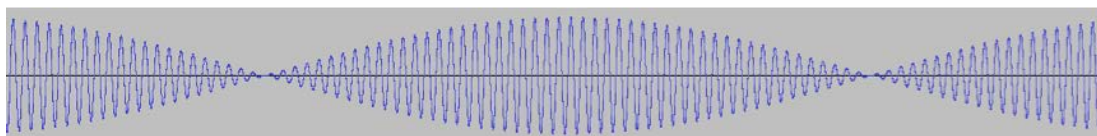


Figura 10. Uma vez sobrepostas, são visíveis as regiões de interferência construtiva e as regiões de interferência destrutiva.

Uma observação cabível é que quando as duas ondas estão em fase, e possuem a mesma frequência, o batimento não é percebido pois nesse caso a diferença entre as frequências é zero, e com isso a frequência dos batimentos é também igual a zero. ~~Se alterarmos as frequências das ondas,~~ percebendo-se outras frequências de batimento.

7 Eco

O fenômeno do Eco caracteriza-se pela distinção entre o som emitido e o som refletido. Isto significa que o intervalo de tempo entre a percepção da onda emitida originalmente e da onda refletida deve ser maior que o tempo de persistência acústica humano, que é aproximadamente um décimo de segundo ($\Delta t_{persist} \approx \frac{1}{10} s$). Para o fenômeno de Eco, gravamos um pequeno trecho de áudio, ou podemos utilizar uma das amostras disponíveis para download no item 5. O Audacity possui a ferramenta de efeitos sonoros, e utilizando-se o comando *Echo* no menu de opções conforme mostrado na Figura 11, podemos gerar esse efeito, simulando a onda refletida.

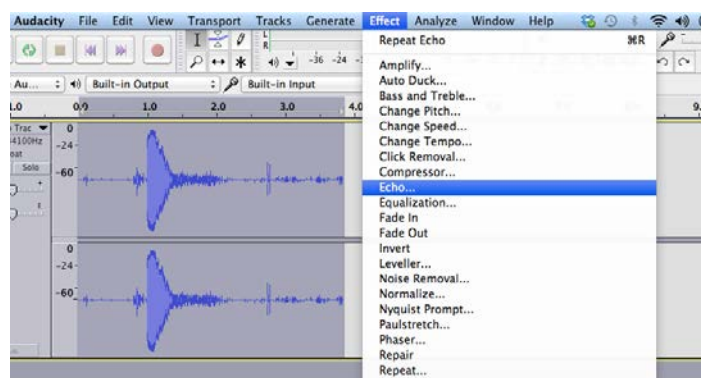


Figura 11. Detalhe do menu *Echo*, na opção *Effect*.

Escolhemos um intervalo de tempo maior que o tempo de persistência acústica, no caso usamos $\Delta t = 0,8s$ (veja Figura 12), e assim o programa gerará uma segunda onda sonora. Por ser um intervalo de tempo maior que o da persistência acústica humana, perceberemos, tanto de maneira auditiva quanto visualmente na tela, o

característico efeito de Eco. Usa-se a opção *preview* para apenas ouvir o efeito, ou use a opção *Ok* para que o resultado seja mostrada na tela.

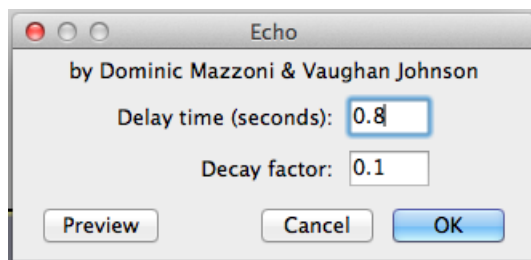


Figura 12. Janela de opções de tempo de Eco e de fator de decaimento, que é o quão menor será a intensidade da onda refletida, em relação à onda original.

8 Reverberação

Quando ocorre reflexão sonora, e a onda refletida é percebida num intervalo de tempo menor que o da persistência acústica, porém próximo, notaremos um prolongamento característico do som, chamado de Reverberação. Isso significa que durante a persistência da onda original, teremos a chegada da onda refletida. Não perceberemos dois sons separados, mas sim, a sensação de continuidade da onda original. O menu *Effect* do *Audacity* não possui efeito de Reverberação nativo. Mas como se trata de um programa de licença livre e código aberto, existe um pacote de efeitos disponível gratuitamente na Internet, com instruções de instalação no endereço eletrônico <http://wiki.audacityteam.org/index.php?title=GVerb>. Feito o download e a instalação desse pacote, passará a aparecer na opção *Effect* o efeito *Gverb*. Esse efeito oferece recursos que simulam o fenômeno de Reverberação, com um série de parâmetros ajustáveis como visto na Figura 13.

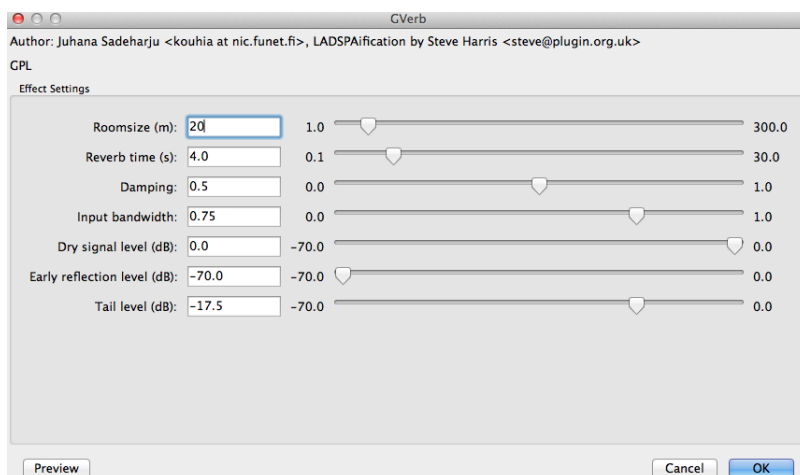


Figura 13. Menu do plugin *GVerb*. Apresentadas aqui algumas configurações possíveis para demonstração da reverberação.

Os parâmetros apresentados na figura acima foram escolhidos arbitrariamente para a utilização em sala de aula, mas recomenda-se a alteração desses para que se experimentem resultados sonoros diferentes.

9 Considerações Finais

As experiências compartilhadas neste trabalho são a parte inicial de um projeto de mestrado em ensino de física, e representam o embrião de uma proposta que utilize a interface ciência/arte como facilitadora do entendimento de Física, num esforço para que se multipliquem ferramentas didáticas a serem utilizadas em sala de aula, permitindo uma experiência valiosa e engajadora aos alunos. Ficam os agradecimentos do autor ao professor Laércio Ferracioli do laboratório de modelagem ModeLab do Programa de Pós Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Espírito Santo – Brasil.

Referências

- DIOGO, R. C. GOBARA, S. T. (2008) “Um ambiente virtual para aprendizagem de conceitos sobre ondas sonoras: Concepções e primeiras análises”. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, Vol. 16, Núm. 2, Pág. 23–36.
- DISESSA, A. A. (1993) “Toward an Epistemology of Physics”. *Cognition and Instruction*. Vol. 10, Núm. 2-3, Pág. 105-225.
- GOMES, T. FERRACIOLI, L. (2006) “A investigação da construção de modelos no estudo de um tópico de Física utilizando um ambiente de modelagem computacional qualitativo”. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. Vol. 28, Núm. 4, Pág. 453-461.
- NEILSEN, T. B. et al. (2012) “Creating an Active-Learning environment in a introductory acoustics course”. *Journal of Acoustic Society of America*. Vol. 131, Núm. 3, Pág. 2500-2509.
- OWSINSKY, B. (1999) “*The Mixing Engineer’s Handbook*”. Ed. 1. Valejo: Mix Books.
- RUSS, M. (2004) “*Sound Synthesis and Sampling*”. Ed. 2. Burlington: Focal Press.
- SÖZEN, M. BOLAT, M. (2011) “Determining the misconception of primary school students related to sound transmission through drawing”. *Procedia Social and Behavioral Sciences*. Vol. 15, Pág. 1060-1066.
- WHITTAKER, A. G. (2012) “Pupils think sound has substance – well, sort of...”. *School Science Review*. Vol. 94, Pág. 346.
- YOUNG, H. et al. (2012) “*Sears and Zemansky’s University Physics: with Modern Physics*”. Ed. 13. San Francisco: Pearson.