

# Música para estudantes de engenharia: Síntese sonora de tema de jazz

(*Music for engineering students: Sound synthesis of jazz theme*)

N.E. Souza Filho<sup>1</sup>, B.A. Gonçalves, V.T. Oliveira

*Engenharia Acústica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil*

Recebido em 22/1/2015; Aceito em 25/3/2015; Publicado em 30/6/2015

A produção de som por instrumentos musicais acústicos é provocada pela vibração de uma estrutura ressonante que pode ser descrita por um sinal correspondente à evolução temporal da vibração associada com a pressão do som. O fato de que o som pode ser caracterizado por um conjunto de sinais, sugere que um dispositivo possa gerar som e, portanto, imitar sons de instrumentos acústicos. Tal dispositivo é chamado de sintetizador, seu principal componente na produção de som é um oscilador. Este trabalho apresenta a síntese de um tema clássico do West Coast Jazz que tem como peculiaridade uma métrica ímpar. Todas as notas foram identificadas na partitura e sintetizadas no computador.

**Palavras-chave:** oscilações, ondas, síntese sonora, música.

The production of sound by acoustic musical instruments is caused by the vibration of a resonant structure that can be described by signal corresponding to the temporal evolution of the vibration associated with the sound pressure. The fact that the sound can be characterized by a set of signals, suggests that a device can generate sound and therefore imitate sounds of acoustic instruments. Such device is called a synthesizer, its main component in sound production is an oscillator. This work presents the synthesis of a classic theme of West Coast Jazz that has as peculiarity an odd metric. All the notes were identified in the score and synthesized on computer.

**Keywords:** oscillations, waves, sound synthesis, music.

## 1. Introdução

O *Cool Jazz* é um estilo que pode ser pensado como uma reação ao revolucionário *Be Bop*. Enquanto o som frenético e complexo do *Be Bop* encontrado na costa leste dos EUA, Nova York, entre as décadas de 40 e 50, passava por uma renovação que ficou conhecida como *Hard Bop*, surgia, simultaneamente, o *West Coast Jazz*, considerado um sub-gênero do *Cool Jazz* referente à vários estilos desenvolvidos na Califórnia entre as década de 50 e 60 [5] e que influenciou um importante movimento musical brasileiro, a *Bossa Nova*.

O álbum *Time Out* do grupo *Dave Brubeck Quartet*, embora tenha sido gravado em Nova York, em três sessões (25 de junho, 1 de julho e 18 de agosto de 1959) no *30th Street Studios*, é um disco emblemático e provavelmente o mais cultuado do estilo *West Coast*. Gravado pelo selo Columbia/Legacy e com produção de Teo Macero [2], o disco caracteriza-se pelo pioneirismo no uso e compassos inusitados como o *zybek* e *waltzes* com variações de tempo. O *Time Out* foi um álbum experimental somente com composições inéditas e a mai-

oria delas com uma métrica ímpar. Mesmo com avaliações negativas recebidas pela crítica na época de seu lançamento, tornou-se um dos mais vendidos álbuns de jazz [4]. A gravação mais famosa do álbum *Time Out* é uma composição escrita por Paul Desmond, *Take Five*, notória por sua melodia distinta, pelo solo de bateria de Joe Morello e pelo uso do compasso 5/4. A música *Take Five* pode ser considerada responsável pelo álbum *Time Out* ser o primeiro disco instrumental a vender mais de 1 milhão de cópias [13].

O objetivo destas notas é apresentar a síntese sonora de *Take Five* desenvolvida na disciplina de música I para engenharia acústica. A disciplina de música para os ingressantes em engenharia acústica lida com os conceitos de oscilações e ondas na produção do som. O principal componente na produção de som de um sintetizador é um oscilador, capaz de produzir frequência e conteúdo harmônico. Isto significa que o oscilador pode reproduzir formas de onda associadas à instrumentos musicais [8]. Portanto, dois fenômenos físicos importantes na música, a oscilação harmônica amortecida e modos de vibração, são revisitados. Em seguida,

<sup>1</sup>E-mail: [nilson.evilasio@eac.ufsm.br](mailto:nilson.evilasio@eac.ufsm.br).

são apresentados os rudimentos de música e uma introdução à síntese sonora para que seja possível ler uma partitura e reproduzi-la matematicamente no computador em atividades em sala de aula com uma abordagem de aprendizagem centrada no aluno [16]. As principais dificuldades encontradas por 80 alunos para realizar a síntese sonora foram observadas durante o primeiro semestre dos anos de 2013 e 2014.

## 2. Oscilações e ondas

### 2.1. Oscilador harmônico simples

Suponha o comportamento oscilatório de um sistema massa-mola sem considerar qualquer atrito. Uma equação diferencial linear de segunda ordem, homogênea e com coeficientes constantes, determinada a partir da segunda lei de Newton e da lei de Hooke

$$\ddot{y} + \omega_0 y = 0, \quad (1)$$

rege este tipo de sistema.

É fácil observar que a elongação da mola em função do tempo é

$$y(t) = A \cos(\omega_0 t + \phi_0), \quad (2)$$

que corresponde a uma das soluções da equação diferencial (1). Como  $\cos(\omega_0 t + \phi_0)$  é uma função periódica de período  $2\pi$ , é definido que  $T = (1/f) = 2\pi/\omega_0$  é o período da oscilação, em segundos;  $f_0$  é a frequência de oscilação dada em hertz;  $\omega_0 = 2\pi f = \sqrt{k/m}$ , dado em *rad/s*, é a frequência natural do sistema;  $\varphi$  é a fase do movimento,  $\varphi = (\omega_0 t + \phi_0)$  e  $\phi_0$  é a fase inicial [11, 12], ou constante de fase (em  $t = 0$ ).

A velocidade, aceleração e suas respectivas amplitudes de oscilação são:

$$\begin{aligned} \dot{y}(t) &= -B \sin(\omega_0 t + \phi_0), \quad \text{com } B = A\omega_0; \\ \ddot{y}(t) &= -C \cos(\omega_0 t + \phi_0); \quad \text{com } C = A\omega_0^2. \end{aligned}$$

De modo que, de acordo com a condição inicial  $t = 0$ , temos:

$$\begin{aligned} y_0 &= A \cos(\phi_0); \\ v_0 &= -B_0 \sin(\phi_0); \\ a_0 &= -\omega_0^2 y_0. \end{aligned}$$

### 2.2. Oscilador harmônico amortecido

Se há um amortecimento devido a uma força dissipativa da forma  $f_{at} = bv$ , por exemplo, a tendência, se não houver uma força externa  $F(t)$ , é que em algum instante cessem as oscilações [11, 12]. Trata-se do caso do oscilador harmônico amortecido. Agora, a equação diferencial fica

$$\ddot{y} + \gamma \dot{y} + \omega_0^2 y = 0, \quad (3)$$

com coeficiente de amortecimento dado por  $\gamma = (b/m)$ . Como a equação diferencial é linear a solução não é

única. As soluções obedecem ao princípio da superposição [11, 12]. A condição necessária e suficiente para que as soluções sejam linearmente independentes é que o *Wronskiano* não se anule.

Considere uma solução do tipo

$$y(t) = e^{pt}. \quad (4)$$

Ao substituir a velocidade e a aceleração na equação diferencial, chega-se a equação algébrica auxiliar

$$p^2 + \gamma p + \omega_0^2 = 0, \quad (5)$$

cujas raízes

$$p_{\pm} = -\frac{\gamma}{2} \pm \sqrt{\frac{\gamma^2}{4} - \omega_0^2} \quad (6)$$

indicam o tipo de amortecimento:

Amortecimento subcrítico:  $\gamma < 2\omega_0$ ;

Amortecimento crítico:  $\gamma = 2\omega_0$ ; e

Amortecimento supercrítico:  $\gamma > 2\omega_0$ .

O primeiro caso, amortecimento subcrítico, é de interesse particular, já que os sons executados por qualquer instrumento musical são harmonicamente amortecidos com  $\gamma < 2\omega_0$ . Nesta situação, surgirá uma raiz de um número negativo. Então, ao chamar

$$\omega = \left( \omega_0^2 - \frac{\gamma^2}{4} \right), \quad (7)$$

implica que

$$p_{\pm} = -\frac{\gamma}{2} \pm j\omega. \quad (8)$$

A solução pode ser uma combinação linear correspondente às soluções das duas raízes da equação característica e para satisfazer as condições iniciais ela necessita de duas constantes arbitrárias  $a$  e  $b$ ,

$$y(t) = ae^{(p_+)t} + be^{(p_-)t} = e^{-\frac{\gamma}{2}t} (ae^{j\omega t} + be^{j\omega t}), \text{ ou}$$

$$y(t) = e^{-\frac{\gamma}{2}t} [a \cos(\omega t) + b \sin(\omega t)].$$

Ao tomar somente a parte real como solução, chega-se a

$$y(t) = e^{-\frac{\gamma}{2}t} [A \cos(\omega t + \phi_0)]. \quad (9)$$

### 2.3. A equação de onda

Uma onda pode ser qualquer sinal transmitido de um ponto a outro de um meio, com velocidade definida. O que caracteriza um movimento ondulatório é a propagação. Quando a oscilação da onda é paralela à direção de propagação, a onda é longitudinal. Se a oscilação for perpendicular à direção de propagação, a onda é transversal [11, 12].

Ondas transversais numa corda são chamadas de ondas progressivas (ou ondas viajantes). Uma onda progressiva pode ter propagação para a direita:  $y(x, t) = f(x - vt)$ ; e para a esquerda:  $y(x, t) = g(x + vt)$ . Geralmente só há um sentido de propagação que é sempre

refletida (em sentido oposto) ao atingir uma extremidade [10, 11]. Para uma corda muito longa a onda progressiva pode ser representada por

$$\Psi(x, t) = f(x - vt) + g(x + vt). \quad (10)$$

Onda harmônica é aquela cuja uma perturbação num ponto  $x$  corresponde a uma oscilação harmônica.

Isto é, o perfil da onda é senoidal dependente do tempo através da variável:  $u = x - vt$ . Então

$$\Psi(x, t) = A \cos[k(x - vt) + \phi_0]. \quad (11)$$

Ao derivar a fase total  $\phi$ , determina-se a velocidade de fase

$$\dot{\phi} = k\dot{x} - \omega = 0, \quad (12)$$

$$v = \frac{\omega}{k} = \lambda\nu. \quad (13)$$

O tempo para completar uma oscilação ( $\phi = 2\pi$  rad) corresponde a um período. Então,

$$\phi = \phi_0 + \omega t. \quad (14)$$

Portanto,  $\omega = 2\pi\nu = kv$ . Logo, uma onda progressiva pode ser representada por

$$y(x, t) = A \cos(kx - \omega t + \phi_0). \quad (15)$$

Os parâmetros da onda progressiva, além dos parâmetros básicos do movimento periódico tais como amplitude; período e frequência, envolvem a velocidade de propagação  $v$ , o comprimento de onda  $\lambda = (2\pi)/k = v\tau$ , o número de onda angular  $k$ , a frequência angular  $\omega$  e a relação de onda  $v = \lambda f$  [10, 11].

Da mesma maneira que a frequência  $f = 1/\tau$  dá o número de oscilações por unidade de tempo, o número de onda  $\sigma = 1/\lambda$  dá o número de comprimentos de onda por unidade de comprimento. O análogo espacial da frequência angular  $\omega = 2\pi f$  é o número de onda angular  $k = 2\pi\sigma$  (dado em [rad/m] ou [m<sup>-1</sup>]). A velocidade de onda é determinada pelas propriedades do meio e é independente de outros parâmetros, mas pode ser determinada através das medidas da frequência e do comprimento de onda [10, 11].

Uma onda sonora produzida por um instrumento musical propaga pelo ar até chegar ao sistema auditivo. Para associar uma equação de movimento com a propagação de onda, deve-se calcular a aceleração num dado ponto  $x$ . A velocidade e aceleração em  $x$  é obtida ao fixar  $x$  e derivar em relação ao tempo. A onda  $\Psi(x, t)$  depende do tempo devido somente à variável  $u = x - vt$ . Logo, a descrição matemática de uma onda será uma equação diferencial parcial, linear de segunda ordem. Então a equação de onda unidimensional é

$$\frac{\partial \Psi}{\partial x} = \frac{1}{v} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2}, \quad (16)$$

em que  $v$  é a velocidade de fase da onda e  $\Psi$  representa a variável que depende da posição de  $x$  e do tempo.

Essa é a forma de equação de onda que se aplica a uma corda esticada. Em três dimensões a equação de onda toma a forma

$$\nabla^2 \Psi = \frac{1}{v} \ddot{\Psi}, \quad (17)$$

que pode descrever o comportamento de uma membrana esticada da pele de um tambor ou o diafragma de um microfone.

#### 2.4. Modos normais de vibração

Ao tomar como solução da equação de onda uma função do tipo

$$\Psi(x, t) = \phi(x) \sin(\omega t), \quad (18)$$

em que  $\phi$  fornece a dependência da amplitude com  $x$ , e  $\omega$  é a frequência angular das oscilações. Então,

$$\dot{\Psi} = -\omega \phi(x) \cos(\omega t),$$

$$\ddot{\Psi} = -\omega^2 \Psi.$$

Ao substituir as derivadas na equação de onda (Eq. (17)), fica

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} [\phi \sin(\omega t)] = -\omega^2 \phi \sin(\omega t),$$

$$\phi'' + \left(\frac{\omega}{v}\right)^2 \phi = 0, \quad (19)$$

que é a equação do oscilador harmônico [10]. Observe que existe um comportamento senoidal no tempo e no espaço. Como  $\omega = 2\pi f$  e  $v = \lambda f$ , a equação de onda, quando a variável  $t$  é eliminada, toma a forma padrão

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 \phi, \quad (20)$$

cuja solução é do tipo

$$\phi = \phi_0 \sin\left(\frac{\omega}{v} x\right) = \phi_0 \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} x\right). \quad (21)$$

Para o caso da corda vibrante, as duas últimas equações correspondem à solução para ondas estacionárias. Os possíveis comprimentos de onda de uma corda de comprimento  $L$ , fixa em cada extremidade, é

$$\lambda = \frac{2L}{n}, \text{ com } n = 1, 2, 3, 4, \dots \quad (22)$$

Porque a distância entre os nós é meio comprimento de onda, e os nós de uma onda estacionária dividem o comprimento total  $L$  num número inteiro de partes, isto é, os extremos fixos não podem se deslocar. Chega-se a essa conclusão mais rigorosamente com a utilização das condições de contorno [10, 11].

A solução geral da Eq. (19) é

$$\phi = A \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} x\right) + B \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} x\right). \quad (23)$$

O deslocamento  $\phi = 0$  ocorre para  $x = 0$  e  $x = L$ . A condição  $x = L$  necessita que  $A = 0$  (ausência de movimento) ou

$$\sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}L\right) = 0,$$

que só ocorre se

$$\left(\frac{2\pi}{\lambda}L\right) = n\pi, \text{ com } n = 1, 2, 3, \dots$$

então o comprimento de onda  $\lambda_n$ , associado ao modo  $n$  é

$$\lambda_n = \frac{2\pi}{k_n} = \frac{2L}{n}, \quad (24)$$

sendo:

$n = 1 \rightarrow 1^\circ$  harmônico (fundamental);

$n = 2 \rightarrow 2^\circ$  harmônico,

$n = 3 \rightarrow 3^\circ$  harmônico...

O modo de ordem  $n$  contém precisamente  $n$  semi-comprimentos de onda e tem  $(n - 1)$  nodos, além dos extremos fixos. A frequência  $f_n$  do modo  $n$  é

$$f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} = n \frac{\nu}{2L}, \quad (25)$$

em que  $\nu = \sqrt{\frac{T}{\rho}}$ , portanto

$$f_1 = \frac{\nu}{2L} = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\rho}} = f_1 = n\nu_1. \quad (26)$$

A Eq. (26) é conhecida como equação de Mersenne, em que  $n$  representa o  $n$ -ésimo harmônico. É importante ressaltar que o movimento geral de uma corda pode ser dado por uma série de Fourier. No decorrer das aulas foram desenvolvidas rotinas para visualizar modos vibracionais unidimensionais e tridimensionais.

O fato de que ondas confinadas numa região limitada no espaço só podem oscilar em frequências bem definidas, que formam um conjunto discreto é uma característica geral extremamente importante do movimento ondulatório. Conclui-se que as soluções da equação de onda podem ser quantizadas, ou seja, são soluções definidas somente para um conjunto discreto de valores de  $n$  [1, 2].

### 3. Rudimentos para engenheiros

O som provém da vibração de um corpo e tem quatro propriedades importantes: frequência; a amplitude; timbre e duração. Música é o efeito produzido por combinações de durações de alturas [3]. Altura, refere-se à forma como o ouvido humano percebe a frequência fundamental dos sons, as baixas frequências como sons graves e as mais altas como sons agudos. Sendo assim, música é a combinação de som e tempo. Toda música contém três elementos fundamentais: *melodia*, *harmonia* e *ritmo*. A melodia é a combinação de sucessivos sons com propriedades distintas. A harmonia

é a combinação dos sons simultâneos, acordes. O ritmo é a forma como são dispostos os sons e silêncios; é o que produz a pulsação da música. A representação das propriedades do som é expressa através de uma escrita própria. A escrita musical é realizada na pauta musical com figuras e sinais que representam as características de cada nota.

#### 3.1. Notas na pauta musical

Determinados sons são representados como uma ou mais notas musicais; cada nota representa um tom ou semitom. Existem 12 notas musicais, constituídas por 7 naturais e 5 acidentes. Cada nota natural tem uma designação: *Dó, Ré, Mi, Fá, Sol, Lá, Si* e podem ser representadas no formato anglosaxônico *C, D, E, F, A, B*, para as notas de Dó a Si, respectivamente.

Os acidentes são simbolizados como sendo a nota natural aumentada ou diminuída de 1/2 tom com sustenido (#) ou bemol (b), respectivamente. Um sustenido eleva a nota natural a um semitom enquanto um bemol baixa a nota um semitom [4]. Considere como exemplo o teclado do piano, as notas naturais correspondem às teclas brancas e as pretas correspondem aos acidentes.

Embora existam 12 notas, um instrumento como o piano, por exemplo, possui mais do que 12 teclas. O conjunto de 12 notas é chamado uma oitava, as 12 notas são repetidas em todas as oitavas. Num piano, o conjunto de 12 teclas (ou as oitavas), possui sons graves na extremidade à esquerda, e sons mais agudos na extremidade direita.

A pauta musical é o conjunto de cinco linhas horizontais paralelas e equidistantes, e os quatro espaços entre elas. As linhas são contadas de baixo para cima. As notas musicais que representam os sons musicais são escritas nestas linhas e espaços. Por ser o número de notas bem superior ao número de linhas e espaços da pauta é necessário usar três claves: de Sol; de Fá e de Dó. Também são utilizadas linhas e espaços suplementares, que são linhas e espaços que ficam acima ou abaixo da pauta para anotar as notas em alturas que não podem ser escritas normalmente na pauta numa determinada clave.

A clave é um sinal usado no início da pauta para determinar o nome e a altura das notas, além disso, ela divide a gama de notas em graves, médias e agudas [4]. Para anotar os sons do piano, por exemplo, é necessário usar duas claves, a clave de Fá para as notas graves (lado esquerdo do piano) e a de Sol para as notas agudas (lado direito do piano). As notas de um saxofone alto são escritas em uma única clave, a de Sol. As notas do contra-baixo são escritas na clave de Fá e a bateria é escrita na clave Neutra (ver Fig. 1).

A *Clave Neutra* ou *clave de percussão*, usualmente usa a seguinte notação para a bateria, em que h é o *hi-hat* tocado com o pé; B é o bumbo; F é o surdo; S é

a caixa; T é o tom; t é o tom menor; R é o *ride*; C é o prado *crash*; e H é o *hi-hat* tocado com a baqueta. A *Clave de Sol* é utilizada para os sons agudos e a nota sol é anotada na segunda linha. A *Clave de Fá* é utilizada para os sons graves e a nota fá é anotada na quarta linha. A *Clave de Dó* é utilizada para os sons médios e tem sido anotada na terceira linha.

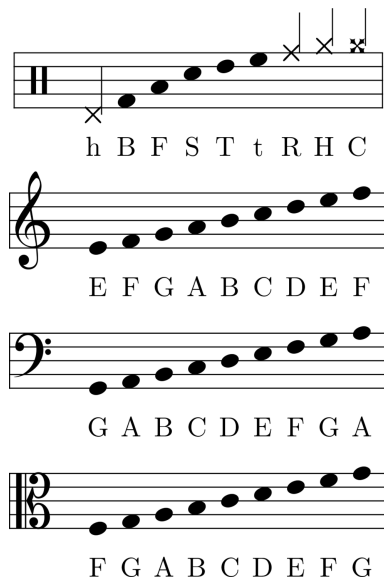


Figura 1 - Na clave de percussão a caixa é escrita no terceiro espaço. Na clave de sol a nota G é escrita na segunda linha. Na clave de Fá a nota F é escrita na quarta linha. Na clave de Dó a nota C é anotada na terceira linha.

Em termos físicos, o som corresponde a uma vibração de determinada frequência. Consequentemente uma nota musical representa uma vibração numa frequência específica que é identificada como uma das 12 notas. Por convenção, a nota (Lá) foi escolhida como frequência de referência 440 Hz (na *terceira oitava*). Para obter a mesma nota numa oitava acima (na quarta oitava), a frequência da nota proveniente da oitava anterior deve ser multiplicada por dois. Uma partitura musical, em última análise, é uma representação do som no plano tempo/frequência [4].







### 3.2. Figuras e duração

Duração é o intervalo de tempo em que um fenômeno persiste. Sons musicais têm durações diferentes. Estas durações são valores, representadas por figuras gráficas de notação musical. Para cada figura musical existe uma pausa correspondente, usada em momentos de silêncio [4]. A duração de cada uma das figuras depende da assinatura de tempo que define qual nota deve ser tomada como unidade de tempo (pulsos) e quantas unidades existem em cada compasso. Na terminologia musical, o tempo também é o nome dado para o pulso básico subjacente de uma canção. Cada clique no metrônomo corresponde a um tempo. Os tempos são agrupados em quantidades iguais dentro de divisões fi-

xas conhecido como compasso. O tempo define o ritmo da música e é medido em batidas por minuto (BPM). A pausa na partitura também tem a sensação e o valor de uma figura musical, portanto, é considerada como um tempo.

O tempo musical organiza, independentemente do ritmo, ou qualquer outra propriedade da música ou som, o evento de som, ou seja, o espaço entre um som musical e o próximo som, ou silêncio. O tempo musical depende da duração de sons ou de pausas e intervalo entre eles, e a propriedade que explica esse fenômeno sonoramente é a duração. A Tabela 1 mostra o valor e a duração das principais figuras musicais.

Tabela 1 - Valores e durações das figuras musicais.

Figura	Nome	Pausa	Duração
	Semibreve	-	1
	Mínima	-	1/2
	Semínima	ξ	1/4
	Colcheia	γ	1/8
	Semicolcheia	γ̇	1/16
	Fusa	γ̇̇	1/32

### 3.3. Métrica

Um ritmo musical pode ser distinguido, memorizado e reproduzido independentemente do tom e timbre de sua música original e a aprendizagem do ritmo depende do desenvolvimento de uma gama de habilidades cognitivas [4]. O ritmo é percebido dentro da tradição tonal da música ocidental, como a união de dois elementos ou estruturas chamadas de "agrupamentos" e "métrica". Devido aos agrupamentos é possível organizar um dado evento musical percebido em uma variedade de segmentos que são construídos a partir da união de notas que formam temas, ou grandes porções de junção, que dão origem a formas musicais.

A métrica é concebida como uma alternância regular de elementos fortes e fracos, chamado de pulso. Embora agrupamentos e métrica sejam teoricamente considerados como instâncias separadas, vale ressaltar que é a união desses dois elementos que nascem as estruturas rítmicas mais estáveis [4], essenciais para qualquer estilo de dança, tais como a valsa ou o tango, que tem padrões instantaneamente reconhecíveis de batidas construídas sobre um ritmo característico. Uma linha musical é dividida em medidas marcadas por pulsos representados por uma fórmula de compasso.

A fórmula de compasso é escrita no início da composição de cada uma de suas seções. O número superior indica o número de notas por compasso e o número inferior indica o valor de cada nota. O ritmo das notas são agrupados objetivamente dentro dos compassos. O compasso é o elemento que permite que um ouvinte organize o ritmo de uma música.

Os compassos podem ser classificadas de duas maneiras. A primeira leva em conta o tipo de divisão sofrida por cada batida do compasso: simples ou compostos. Compasso simples é um compasso cujo tempo possa ser dividido por dois ou a unidade de tempo do compasso pode ser naturalmente dividida em duas partes iguais. Pode ser binária, ternária ou quaternária. O compasso composto é um compasso de tempo que pode ser dividido por três ou que a unidade de tempo possa ser composta em três partes iguais.

O segundo tipo de classificação leva em conta o número de vezes que o compõem: binário; ternário; quaternário e alternado. O compasso binário consiste em dois toques, sendo o primeiro forte e o segundo fraco. Podem ser classificados como simples (8/2, 4/2, 2/2) ou compostos (6/16, 6/8, 6/4). O compasso ternário é formado por três toques, o primeiro forte, o segundo e o terceiro fraco. Podem ser classificados como simples (8/3, 4/3, 3/2) ou composto (16/9, 8/9, 4/9). O compasso quaternário é formado por quatro toques, o primeiro forte, o segundo fraco, o terceiro moderado e o quarto fraco. Pode ser classificado como simples (8/4, 4/4, 4/2) ou composto (12/16, 12/8, 12/4).

O compasso alternado é formado pela junção de dois ou mais diferentes compassos [17]. O compasso 5/4, por exemplo, como é o caso de *Take Five*, pode ser gerado pela fusão dos compassos 2/4 + 3/4 ou ao contrário 3/4 + 2/4. Algumas músicas escritas em métrica ímpares soam como um exercício intelectual, mas a música de *Paul Desmond* é uma notável exceção com uma bela melodia.

### 3.4. Introdução à síntese sonora

Para criar um tom puro no computador é necessário avaliar a função  $y(t) = \sin(2\pi ft)$ , como uma *função discreta* de  $t$ , em intervalos de tempo iguais. Estes intervalos de tempo devem ser suficientemente pequenos para obter uma forma de onda suave. O quão pequeno deve ser o intervalo segue o critério de Nyquist [18].

Se  $t$  é o tempo em segundos, o período é de  $T = 1/f$ , este intervalo de tempo é chamado de *intervalo de amostragem*  $t_s$  e o processo de dividir uma onda contínua e especificar apenas pontos discretos de tempo, é chamado de *amostragem*. Devemos, portanto, ter uma *frequência de amostragem*,  $f_s = 1/t_s$ .

Uma maneira eficiente de obter sons semelhantes a instrumentos acústicos com espectros complexos é por síntese sonora. A síntese aditiva é uma técnica que cria tons pela soma de sons simples (série de Fourier). A síntese por modulação de frequência, ou síntese FM [19], utiliza os parâmetros: frequência portadora  $f_c$ ; frequência de modulação  $f_m$  e desvio de pico  $d$ . A equação para uma onda com frequência modulada, para obter sons, é dada pela equação

$$e = A\sin[\alpha + I\sin(\beta t)], \quad (27)$$

em que  $e$  é a amplitude instantânea da onda portadora modulada;  $\alpha$  é a frequência portadora (em rad/s);  $\beta$  é a frequência de modulação (em rad/s), e a relação entre a frequência modulação e desvio de pico,  $I = d/f_m$ , é chamada de índice de modulação. As amplitudes de onda portadora e componentes são determinados pelas funções de Bessel de primeiro tipo  $J_n(I)$  de ordem  $n$ , em que o argumento é o índice de modulação [9].

O caráter da evolução temporal das componentes espectrais é de fundamental importância na determinação do timbre. A teoria clássica do timbre [6] considera como principais características: o envelope da amplitude da onda e a magnitude do envelope espectral.

O envelope da amplitude revela características do tipo de oscilação e do tipo de força motriz. Há quatro componentes para o envelope de som: ataque, decaimento, sustentação e relaxamento. O ataque indica o tempo que o som leva para atingir o seu nível máximo desde o nível zero. O decaimento é como um som desaparece. Sustentação é o intervalo de tempo em que o valor de pico é mantido. O relaxamento é o tempo que o som leva para desaparecer depois que a nota é tocada. Com as iniciais desses passos é criado um envelope com o nome de ADSR. Existem envelopes mais complexos, com mais passos intermediários, mas geralmente são variações do mesmo conceito.

O envelope da magnitude espectral descreve como a energia é distribuída ao longo do domínio da frequência. O sistema acústico da maioria dos instrumentos musicais consiste de uma fonte de excitação e um ressonador. As frequências de ressonância, que dependem do tamanho e forma do material ressonador, enfatizam certas regiões espectrais e amplificam algumas frequências harmônicas. Assim, o envelope espectral de um instrumento exibe picos característicos, chamados de formantes, localizados em determinadas regiões de frequência.

## 4. Materiais e métodos

A abordagem pedagógica que estamos tentando desenvolver e refinar foi desenvolvida com 80 alunos, com idade média de 19 anos, 40 matriculados em 2013 e 40 em 2014. Todos os alunos foram admitidos por exame vestibular e apenas 10% deles não possuíam um computador pessoal. A disciplina *EAC1008 - Música para Engenharia Acústica I*, é um curso de 30 horas, dividido em 15 aulas de 2 horas, a Tabela 2 apresenta o programa seguido em dois anos consecutivos.

Os passos progressivos para a mudança da abordagem tradicional para uma abordagem mais centrada ao aluno foi efetuada utilizando sessões de laboratório computacional com Matlab, em que os alunos foram incentivados a trabalhar cooperativamente em pares. O Matlab tem uma estrutura de comando simples.

Tabela 2 - Conteúdo ministrado em 2013 e 2014.

Aulas	Conteúdo
01	Funções trigonométricas
02	Oscilações
03	Ondas
04	Lab Computacional
05	Séries de Fourier
06	Lab Computacional/Harmônicos
07	Ressonador de Helmholtz
08	Lab Computacional/Garrafas ressonantes
09	Funções de Bessel
10	Lab Computacional
11	Rudimentos de música
12	Introdução a síntese sonora
13	Lab Computacional/Bateria
14	Lab Computacional/Baixo e piano
15	Lab Computacional/Saxofone

As aulas sobre física foram apresentados de forma tradicional e reforçadas com sessões de laboratório computacional. Também foi realizada uma mistura de duas atividades interativas com sessões de laboratório computacional. Uma atividade com um contra-baixo elétrico, na qual os alunos puderam visualizar o conjunto completo de componentes de Fourier (fundamentais e harmônicos) presentes na corda (aula 06) e a outra foi uma atividade interativa com os olhos vendados para encontrar um companheiro numa espécie de efeito *cocktail* apenas pelo reconhecimento da frequência de Helmholtz da garrafa de vidro, o objetivo foi determinar as frequências escutadas por cada par de garrafas (aula 08), nessas aulas os alunos foram mais responsáveis pela aprendizagem em si e ocorreu a mudança do papel do professor mediador para facilitador.

As aulas seguintes estão relacionadas com os rudimentos da música e uma introdução a síntese sonora, conforme apresentado anteriormente neste artigo. Finalmente, a junção dos dois conteúdos (física e música) em que os alunos realizam a síntese sonora de *Take Five*. Os procedimentos e os resultados das próximas seções referem-se a síntese sonora da bateria, baixo, piano e saxofone realizadas nas aulas 13, 14 e 15.

#### 4.1. Materias

- 1 - Partitura de *Take Five* [10];
- 2 - *Samples* de bateria [9];
- 3 - Computador com Matlab (ou Octave);

#### 4.2. Métodos

- 1 - Síntese por sons *sampleados* (para a bateria);
- 2 - Síntese aditiva (para o baixo e piano);
- 3 - Síntese FM [8] (para o saxofone).

#### 4.3. Procedimentos

As atividades foram realizadas em pares, em sua maioria compostas por um aluno com o conhecimento musical e outro sem. Na 12<sup>a</sup> aula com a ajuda da Fig. 1,

da Tabela 1 e da partitura de *Take Five*, os alunos definiram: as frequências das notas; o ritmo; os valores e as pausas. As notas usadas em *Take Five* com seus respectivos valores foram escritos no Matlab, em seguida, as notas tocadas pelo baixo foram simulados por síntese aditiva com um amortecimento subcrítico.

Na aula 13, os alunos receberam amostras de sons de uma bateria. Os arquivos de áudio foram lidos e preenchidos com o tamanho das notas predefinidas de acordo com o andamento do tema. Então, foi sintetizado o prato *ride*, o *hi-hat*, o bumbo e a caixa, respectivamente, para que depois todas as peças fossem unidas para formar a bateria. Na aula 14, as notas tocadas pelo piano e baixo foram identificadas na partitura. As notas identificadas foram construídas no Matlab por síntese aditiva, de acordo com a frequência e duração da figura escrita na partitura. Em seguida, foi elaborado um pacote ADSR para a síntese. Na aula 15, os estudantes aplicaram a função de Bessel para produzir o timbre do saxofone e, em seguida, a síntese da melodia de *Take Five*.

Foi realizada uma análise da execução de cada instrumento e apresentado o resultado da síntese sonora da bateria, contra-baixo, do piano e do saxofone, respectivamente.

## 5. Resultados e discussão

A estrutura de *Take Five* está na forma **ABA**. A assinatura de tempo 5/4 é caracterizada pela subdivisão (3/4 + 2/4), evidenciado pela ritmo, pela linha melódica do baixo e pelo piano. A tonalidade na seção **A** é Eb menor, na seção **B** modula para Gb maior, que é o tom relativo de Eb menor, e começa a seção no acorde subdominante, Cb maior. Apesar da seção **B** manter todos os recursos de música e semelhanças dos padrões de *jazz*, eles não são usados durante os solos/improvisações. Paul Desmond e Joe Morello improvisam apenas nas seções **A** e o tema torna-se essencialmente um *vamp* até a melodia ser reintroduzida no final da música.

### 5.1. Bateria

Joe Morello foi aluno de George Lawrence Stone posteriormente estudou com Billy Gladstone e escreveu um importante método com exercícios formulados para uma abordagem natural à técnica [12]. A dinâmica de *Take Five* na partitura [10] é *alegricissimo*, fixado em 172 BPM. Sendo a fórmula de compasso 5/4, e uma semínima é igual a 172 BPM, em cada medida deve ter cinco toques de 60/172, que totalizam 1,744 s.

A bateria foi reproduzida por síntese dos sons *sampleados* com um *kit* [9] semelhante ao usado por Morello na gravação de *Take Five*. A síntese por sons *sampleados* na realidade não é uma síntese, é mais uma técnica na qual é possível obter resultados semelhantes a uma

síntese [7]. O padrão rítmico mais utilizado por Morello é apresentado na Fig. 2.

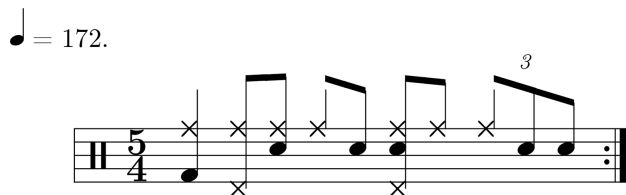


Figura 2 - Andamento e padrão rítmico principal [10].

Os primeiros compassos da bateria são variações desse padrão rítmico. O mesmo padrão de prato é mantido durante a maior parte da música e pode ser considerado como um padrão de pulso tradicional do jazz que tem a sensação de tercinas sincopadas, mas com um toque adicional.

Ao longo do tema são utilizadas *notas fantasmas* na caixa na segunda e terceira tercina do quinto toque do compasso, que deslizam em um único toque que combina com o bumbo do próximo compasso. Apresentamos na [Fonte externa B](#), a síntese sonora da bateria, do *hi hat* do prato *crash*, do bumbo e da caixa.

## 5.2. Contra-baixo

A execução do baixo é um exemplo de ostinato, um padrão rítmico e melódico que é repetido insistentemente. A linha de baixo criada por Eugene Wright começa no quarto tempo do nono compasso e está representada na Fig. 3. Através de uma linha de baixo simples e clara, Wright realizou um grande trabalho que descreve toda a intenção rítmica e harmônica da música. A síntese sonora das notas executadas pelo baixo é apresentada na [Fonte externa A](#).

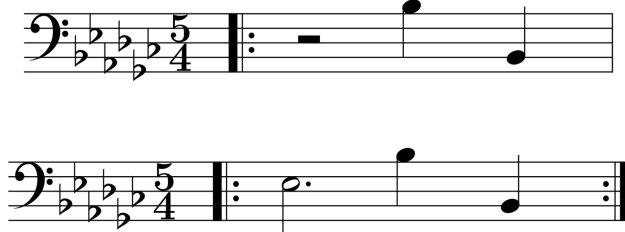


Figura 3 - Ostinato tocado pelo contra-baixo.

## 5.3. Piano

O piano começa na primeira metade do quinto compasso e cada seção do piano tocado por Brubeck é um *vamp* harmônico em Eb menor como mostra a Fig. 4.

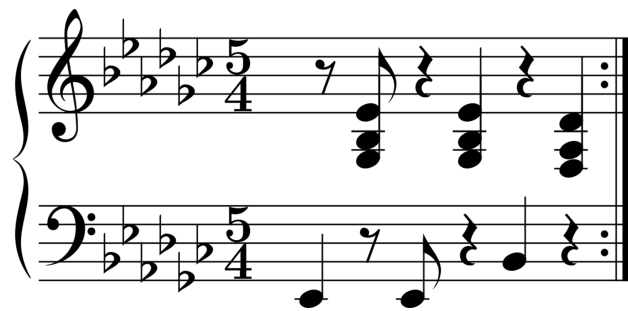


Figura 4 - O *vamp* harmônico no piano de *Take Five* [10].

O piano toca junto com o baixo ao longo da seção A, um ostinato acentuado em ritmo e em harmonia. Entretanto, na hora dos solos, o piano executa um *vamp* que tem as mesmas características de um ostinato, no entanto com a repetição até ao momento em que a melodia é retomada. A síntese sonora do piano é apresentada na [Fonte externa C](#).

## 5.4. Saxofone

Embora Paul Desmond tenha sido inevitavelmente influenciado por Charlie Parker, seu som *cool* lembra claramente o saxofonista tenor Lester Young, como verificou Jim Hall certa vez, ao ouvir fitas em uma rotação mais lenta de sessões gravadas com Desmond [13]. A melodia tocada pelo saxofone mantém só um ostinato rítmico.

Através de semicolcheias, colcheias, semínimas e mínima pontuada numa melodia que trabalha em contraponto por vezes com o baixo e outras com o piano, a melodia do saxofone alto começa no quinto tempo do décimo compasso, e nas seções A é possível observar uma outra característica do jazz que é o uso da passagem cromática até o quarto grau aumentado, a *blue note*, a Fig. 5 mostra a melodia inicial de *Take Five* para o saxofone alto.



Figura 5 - Início da melodia de *Take Five* no saxofone.

Além de suas diferenças óbvias e singularidades, os instrumentos de sopro têm algumas características comuns que motivam a idéia de um modelo geral de síntese.

Em primeiro lugar, eles são todos constituídos por um tubo de ressonância e algum tipo de excitação acústica que faz com que o ar no interior do tubo vibre numa frequência fundamental particular. O espectro sonoro de instrumentos com saída de som cônica, tem



harmônicos em todos os múltiplos da frequência fundamental. Para simular um instrumento com todos os harmônicos presentes além da frequência fundamental, a frequência portadora e a frequência de modulação devem definir uma proporção específica denominada de harmonicidade  $H = (f_m/f_c)$ .

Para obter um som semelhante ao instrumentos de metal (trompete, trombone) a harmonicidade deve ser de  $H = 1$ , para obter um som semelhante aos instrumentos de madeiras a harmonicidade deve ser de  $H = 3/2$  para o clarinete; e  $H = 5$  para o fagote [4]. Para saxofone alto, não é fácil de definir um valor de harmonicidade  $H$ . Além disso, o saxofone alto em Eb é um instrumento de transposição que soa uma sexta maior abaixo do que está escrito. A síntese sonora do saxofone alto é apresentada na [Fonte externa 1](#).

### 5.5. Considerações finais

O *Dave Brubeck Quartet* foi criado em 1957 e terminou em 1967, e durante esse tempo foi popular no meio universitário, ao tocar várias vezes em faculdades. Vale a pena comentar que a gravação do álbum *Time Out* foi realizada no mesmo ano do álbum marco da bossa nova, *Chega de Saudade*, de João Gilberto, um fato importante para o surgimento do *jequibau* em 1965, que foi um passo pioneiro na música popular brasileira, ao tornar mais comum o uso de compassos quebrados em ritmos originalmente binários como samba e maracatu.

O tema escolhido pelos alunos pode ser tocado por cada instrumento separadamente ou com todos os instrumentos ao mesmo tempo. Surpreendentemente, muitos estudantes preferem a abordagem tradicional na disciplina. No entanto, os mesmos estudantes reconhecem a importância de ter uma boa introdução com Matlab e da sua utilidade em outras disciplinas do curso de engenharia acústica, tais como: fundamentos da acústica, psicoacústica, métodos numéricos, processamento de sinal digital, acústica da salas, auralização, técnicas de gravação, projeto sonoro e outras.

Entre as principais dificuldades encontradas pelos alunos estão: definir o andamento; realizar operações com vetores de cada amostra da bateria que devem ter tamanho correspondente à figura da partitura e manipular o índice de modulação determinado por uma função de Bessel para encontrar um timbre apropriado para a síntese do saxofone.

## 6. Conclusão

As notas de cada instrumento foram identificadas na partitura do tema escolhido. Em seguida, o padrão rítmico mais utilizado na bateria foi sintetizado, assim como as notas do baixo, do piano e do saxofone alto. A síntese sonora de *Take Five* é uma atividade que pode ser usada para discutir oscilações, ondas, música e síntese sonora. Esta abordagem com a utilização

de um clássico do jazz para ensinar música para ingressantes em engenharia tem demonstrado ser eficaz. Uma avaliação do curso sugere melhoras operacionais e o aumento da satisfação dos alunos para os próximos anos. Assim, sentimos que esta abordagem é amplamente aplicável no ensino de engenharia.

## Agradecimentos

Agradecemos a direção do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria por prover bolsa de monitoria para a disciplina EAC 1008 - Música I para engenharia acústica.

## Referências

- [1] M. Alonso and E.J. Finn, *Física: Um Curso Universitário, v. 2 - Campos e Ondas* (Editora Edgard Blücher Ltda., São Paulo, 1995), 1ª ed.
- [2] D. Brubeck-Quartet, *Time Out* (Columbia Records, New York, 1959).
- [3] C. Caregnato, Revista da ABEM **19**, 25, (2014).
- [4] J.M. Chowning, J. Audio Eng. Soc. **21**, 7 (1973).
- [5] B. Morton and R. Cook, *The Penguin Jazz Guide: The History of the Music in the 1000 Best Albums* (Penguin UK, London, 2010), 10ª ed.
- [6] H.L. Helmholtz, *On the Sensations of Tone as a Physiological Basis for the Theory of Music* (Cambridge University Press, Cambridge, 2009), 3ª ed.
- [7] L.L. Henrique, *Acústica Musical* (Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 2002), 2ª ed.
- [8] M. Hewitt, *Music Theory for Computer Musicians* (Cengage Learning, Stamford 2008), 1ª ed.
- [9] P. Lab, *Vintage 1965 Ludwig Super Classic Drum*, disponível em [http://plutoniclab.com/pl/?page\\_id=13](http://plutoniclab.com/pl/?page_id=13), acessado em 6/5/2015.
- [10] J. LaBarbera and R. Mattingly, *Drum Standards: Transcriptions of 10 Classic Jazz Performance* (Hal Leonard, Winona, 2001), 1ª ed.
- [11] B. Med, *Teoria da Música* (Musimed, Brasília, 1996), 4ª ed.
- [12] J. Morello, *Master Studies* (Modern Drummer Publisher, Nutley, 1989), 1ª ed.
- [13] R. Muggiati, *Improvizando Soluções* (BestSeller, Rio de Janeiro, 2008), 1ª ed.
- [14] A.V. Oppenheim, R.W. Schaffer and J.R. Buck, *Discrete-Time Signal Processing Vol. 2* (Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1989), 2ª ed.
- [15] B. Rich and H. Adler, *Buddy Rich's Modern Interpretation of Snare Drum Rudiments* (Amsco Music, New York, 2005), 1ª ed.
- [16] C.R. Rogers, *Freedom to Learn for The 80's* (C.E. Merrill Publishing Company, Indianapolis, 1983), 1ª ed.
- [17] M. Russo and D. Famularo, *Odd Feelings: Book and CD* (Alfred Publishing Company Incorporated, Van Nuys, 2013).

## Fontes externas

**Fonte A:** <http://www.eac.ufsm.br/secundaria/nilson-evilasio-dr/notas-de-aula/notas-de-aula-eac1008/anexo-a>.

**Fonte B:** <http://www.eac.ufsm.br/secundaria/nilson-evilasio-dr/notas-de-aula/notas-de-aula-eac1008/anexo->

b.

**Fonte C:** <http://www.eac.ufsm.br/secundaria/nilson-evilasio-dr/notas-de-aula/notas-de-aula-eac1008/anexo-c>.

**Fonte D:** <http://www.eac.ufsm.br/secundaria/nilson-evilasio-dr/notas-de-aula/notas-de-aula-eac1008/anexo-d>.

## Navegação

Bem-vindos ao site da Engenharia Acústica da UFSM

### Coordenação

#### Ensino

Graduação  
Pós-graduação

#### Professores

Dinara X. da Paixão, Dra.  
Eric Brandão, Dr.  
Marco A. S. Pinheiro, D.Sc.  
Nilson Evilásio de Souza Filho, Dr.  
Paulo Henrique Mareze, Dr.  
William D'Andrea Fonseca, Dr.

#### Pesquisa

Controle de ruído e vibrações  
Acústica arquitetônica  
Acústica das edificações  
Métodos computacionais  
Aeroacústica  
Psicoacústica  
Grupos de Pesquisa

#### Laboratório e estrutura

#### Ensaio

Ensaio acústicos  
Caracterização dinâmica  
NBR 15575

#### Parcerias

#### Publicações

#### Links

#### Acesso Interno

#### Sitemap

Professores > Nilson Evilásio de Souza Filho, Dr. > Notas de Aula > Notas de Aula EAC1008 >

## Anexo A

### Anexo A - Síntese do Baixo

```
%------%  
% Baixo (completo)  
%------%  
bx = [...%1 Entrada Batera 4C  
pminimap,pseminima,pseminima,...  
pminimap,pseminima,pseminima,...  
pminimap,pseminima,pseminima,...  
pminimap,pseminima,pseminima,...  
...%5 - Vamp Plano 4C  
pminimap,pseminima,pseminima,...  
pminimap,pseminima,pseminima,...  
pminimap,pseminima,pseminima,...  
pminimap,pseminima,pseminima,...  
...%9 Entrada Baixo  
pminimap,Bb2_seminima,Bb1_seminima,...  
Eb2_minimap,Bb2_seminima,Bb1_seminima,...  
Eb2_minimap,Bb2_seminima,Bb1_seminima,...  
Eb2_minimap,Bb2_seminima,Bb1_seminima,...  
...%13 A  
Eb2_minimap,Bb2_seminima,Bb1_seminima,...  
Eb2_minimap,Bb1_seminima,Db2_seminima,...  
Eb2_minimap,Bb1_seminima,Db2_seminima,...  
Eb2_minimap,Bb2_seminima,Bb1_seminima,...  
Eb2_minimap,Bb2_seminima,Bb1_seminima,...  
Eb2_minimap,Bb1_seminima,Db2_seminima,...  
Eb2_minimap,Bb1_seminima,Db2_seminima,...  
Eb2_minimap,Bb2_seminima,Bb1_seminima,...  
...%21 B  
C2_minimap,Ab1_seminima,A1_seminima,...  
Bb1_minimap,Eb2_seminima,Gb1_seminima,...  
Ab1_minimap,Db2_seminima,Ab1_seminima,...  
Gb1_minimap,Gb2_seminima,Db2_seminima,...  
B1_minimap,Ab1_seminima,A1_seminima,...  
Bb1_minimap,Eb2_seminima,A1_seminima,...  
Ab1_minimap,Db2_seminima,Eb2_seminima,...  
F2_minimap,Bb1_seminima,F2_seminima,...  
...%29 A  
Eb2_minimap,Bb2_seminima,Bb1_seminima,...  
Eb2_minimap,Bb1_seminima,Db2_seminima,...  
Eb2_minimap,Bb1_seminima,Db2_seminima,...  
Eb2_minimap,Bb2_seminima,Bb1_seminima,...  
Eb2_minimap,Bb2_seminima,Bb1_seminima,...  
Eb2_minimap,Bb1_seminima,Db2_seminima,...  
Eb2_minimap,Bb1_seminima,Db2_seminima,...  
Eb2_minimap,Bb2_seminima,Bb1_seminima,...  
...%37 Fim  
Eb2_minimap];
```



Anexo\_A\_bass.mp3 (998k)

Marco Pinheiro, 26 de mar de 2015 16:00

v.1



### Comentários

Você não tem permissão para adicionar comentários.

**Navegação**

Bem-vindos ao site da Engenharia Acústica da UFSM

**Coordenação**

**Ensino**

Graduação  
Pós-graduação

**Professores**

Dinara X. da Paixão, Dra.  
Eric Brandão, Dr.  
Marco A. S. Pinheiro, D.Sc.  
Nilson Evilásio de Souza Filho, Dr.  
Paulo Henrique Mareze, Dr.  
William D'Andrea Fonseca, Dr.

**Pesquisa**

Controle de ruído e vibrações  
Acústica arquitetônica  
Acústica das edificações  
Métodos computacionais  
Aeroacústica  
Psicoacústica  
Grupos de Pesquisa

**Laboratório e estrutura**

**Ensaio**

Ensaio acústicos  
Caracterização dinâmica  
NBR 15575

**Parcerias**

**Publicações**

**Links**

**Acesso Interno**

**Sitemap**

Professores > Nilson Evilásio de Souza Filho, Dr. > Notas de Aula > Notas de Aula EAC1008 >

**Anexo B**

**Anexo B - Síntese da Bateria.**

```
function [ride,crash,hihat,bumbo,caixa]=batera(D,TS,Gain)

% Carregar samples de uma Bateria Ludwig
% Condução
[ride1, Fs_r1] = audioread('Paiste602Ride 001.wav');

C1_minima2 = sin(2*pi*f_C1*minima2).*exp(-gminima2*minima2);
C1_minimap = sin(2*pi*f_C1*minimap).*exp(-gminimap*minimap);
C1_minima = sin(2*pi*f_C1*minima).*exp(-gminima*minima);
C1_seminima = sin(2*pi*f_C1*seminima).*exp(-gseminima*seminima);
C1_colcheia = sin(2*pi*f_C1*colcheia).*exp(-gcolcheia*colcheia);
C1_tercina = sin(2*pi*f_C1*tercina).*exp(-gtercina*tercina);
% Deixar os samples do mesmo tamanho das notas
tamanho_minima2 = length(C1_minima2);
tamanho_minimap = length(C1_minimap);
tamanho_minima = length(C1_minima);
tamanho_seminima = length(C1_seminima);
tamanho_colcheia = length(C1_colcheia);
tamanho_tercina = length(C1_tercina);

ride1_minima = ride1(1:tamanho_minima);
ride1_seminima = ride1(1:tamanho_seminima);
ride1_colcheia = ride1(1:tamanho_colcheia);
ride1_tercina = ride1(1:tamanho_tercina);

ride = [... %1 Entrada bateria
ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima...
ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima...
ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima...
ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima...
...%5 - piano
ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima...
ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima...
ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima...
ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima...
...% 9 Entrada Baixo
ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima...
ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima...

ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima...
ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima... %13 - A

ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima...
ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima...
ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima...
ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima...
ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima...
...%21 - B
ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima...
ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima...
ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima...
ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima...
ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima...
ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima...
...%29 - A
ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima...
ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima...
ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima...
ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima...
ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima...
ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima, ride1_colcheia, ride1_colcheia, ride1_seminima...
...%37 - FIM
pminimap];

%Crash
[crash2, Fs_csh2] = audioread('Paiste602RideCrash 002.wav');

crash2_minima2 = crash2(1:tamanho_minima2).*exp(-minima2);
crash2_minimap = crash2(1:tamanho_minimap).*exp(-minimap);

crash = [... %1 - Entrada batera
pseminima, pseminima,pseminima,pseminima,pseminima...
pseminima, pseminima,pseminima,pseminima,pseminima...
pseminima, pseminima,pseminima,pseminima,pseminima...
pseminima, pseminima,pseminima,pseminima,pseminima...
... %Entrada Piano
pseminima, pseminima,pseminima,pseminima,pseminima...
pseminima, pseminima,pseminima,pseminima,pseminima...]
```







## Navegação

Bem-vindos ao site da Engenharia Acústica da UFSM

### Coordenação

#### Ensino

Graduação  
Pós-graduação

### Professores

Dinara X. da Paixão, Dra.  
Eric Brandão, Dr.  
Marco A. S. Pinheiro, D.Sc.  
Nilson Evilásio de Souza Filho, Dr.  
Paulo Henrique Mareze, Dr.  
William D'Andrea Fonseca, Dr.

### Pesquisa

Controle de ruído e vibrações  
Acústica arquitetônica  
Acústica das edificações  
Métodos computacionais  
Aeroacústica  
Psicoacústica  
Grupos de Pesquisa

### Laboratório e estrutura

#### Ensaio

Ensaio acústicos  
Caracterização dinâmica  
NBR 15575

#### Parcerias

#### Publicações

#### Links

#### Acesso Interno

#### Sitemap

[Professores](#) > [Nilson Evilásio de Souza Filho, Dr.](#) > [Notas de Aula](#) > [Notas de Aula EAC1008](#) >

## Anexo C

### Anexo C - Síntese do Piano.

```
%-----%
% Harmonia
%-----%
harm = [...%Piano
...%Entrada Batera 4C
...%1
pminimap,pseminima,pseminima,...
...%2
pminimap,pseminima,pseminima,...
...%3
pminimap,pseminima,pseminima,...
...%4
pminimap,pseminima,pseminima,...
...%Vamp Piano 4C
...%5
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Bb3_seminima),pp*(F4_seminima+Ab4_seminima+Db4_seminima),...
...%6
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Bb3_seminima),pp*(F4_seminima+Ab4_seminima+Db4_seminima),...
...%7
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Bb3_seminima),pp*(F4_seminima+Ab4_seminima+Db4_seminima),...
...%8
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Bb3_seminima),pp*(F4_seminima+Ab4_seminima+Db4_seminima),...
...%Entrada Baixo
...%9
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Bb3_seminima),pp*(F4_seminima+Ab4_seminima+Db4_seminima),...
...%10
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Bb3_seminima),pp*(F4_seminima+Ab4_seminima+Db4_seminima),...
...%11
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Bb3_seminima),pp*(F4_seminima+Ab4_seminima+Db4_seminima),...
...%12
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Bb3_seminima),pp*(F4_seminima+Ab4_seminima+Db4_seminima),...
...%A
...%13
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Bb3_seminima),pp*(F4_seminima+Ab4_seminima+Db4_seminima),...
...%14

pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Bb3_seminima),pp*(F4_seminima+Ab4_seminima+Db4_seminima),...
...%15
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Bb3_seminima),pp*(F4_seminima+Ab4_seminima+Db4_seminima),...
...%16
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Bb3_seminima),pp*(F4_seminima+Ab4_seminima+Db4_seminima),...
...%17
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Bb3_seminima),pp*(F4_seminima+Ab4_seminima+Db4_seminima),...
...%18
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...

pp*(Bb3_seminima),pp*(F4_seminima+Ab4_seminima+Db4_seminima),...
...%19
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Bb3_seminima),pp*(F4_seminima+Ab4_seminima+Db4_seminima),...
...%20
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Bb3_seminima),pp*(F4_seminima+Ab4_seminima+Db4_seminima),...
...%B
...%21
pp*(B3_minimap+Eb4_minimap+Gb4_minimap),pp*(Ab3_minima+B3_minima+Eb4_minima),...
...%22
pp*(Bb3_minimap+Db4_minimap+F4_minimap),pp*(Eb4_minima+Gb4_minima+Bb4_minima),...
```



```
...%23
pp*(Ab3_minimap+B3_minimap+Eb4_minimap),pp*(Db4_minima+F4_minima+Ab4_minima),...
...%24
pp*(Gb3_minimap+Bb3_minimap+Db4_minimap),pp*(Gb3_minima+Bb3_minima+Db4_minima),...
...%25
pp*(B3_minimap+Eb4_minimap+Gb4_minimap),pp*(Ab3_minima+B3_minima+Eb4_minima),...
...%26
pp*(Bb3_minimap+Db4_minimap+F4_minimap),pp*(Eb4_minima+Gb4_minima+Bb4_minima),...
...%27
pp*(Ab3_minimap+B3_minimap+Eb4_minimap),pp*(Db4_minima+F4_minima+Ab4_minima),...
...%28
pp*(F3_minimap+Ab3_minimap+C4_minimap),pp*(Bb3_minima+D4_minima+F4_minima),...
...%A
...%29
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Bb3_seminima),pp*(F4_seminima+Ab4_seminima+Db4_seminima),...
...%30
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Bb3_seminima),pp*(F4_seminima+Ab4_seminima+Db4_seminima),...
...%31
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Bb3_seminima),pp*(F4_seminima+Ab4_seminima+Db4_seminima),...
...%32
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Bb3_seminima),pp*(F4_seminima+Ab4_seminima+Db4_seminima),...
...%33
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Bb3_seminima),pp*(F4_seminima+Ab4_seminima+Db4_seminima),...
...%34
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Bb3_seminima),pp*(F4_seminima+Ab4_seminima+Db4_seminima),...
...%35
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Bb3_seminima),pp*(F4_seminima+Ab4_seminima+Db4_seminima),...
...%36
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Eb3_colcheia+Eb4_colcheia),pp*(Gb4_seminima+Bb4_seminima),...
pp*(Bb3_seminima),pp*(F4_seminima+Ab4_seminima+Db4_seminima),...
...%Fim
...%37
pp*(Eb4_minimap+Gb4_minimap+Bb4_minimap);
```

Anexo\_C\_piano.mp3 (998k)

Marco Pinheiro, 26 de mar de 2015 16:01

v.1

### Comentários

Você não tem permissão para adicionar comentários.

## Navegação

Bem-vindos ao site da Engenharia Acústica da UFSM

### Coordenação

#### Ensino

Graduação  
Pós-graduação

### Professores

Dinara X. da Paixão, Dra.  
Eric Brandão, Dr.  
Marco A. S. Pinheiro, D.Sc.  
Nilson Evilásio de Souza Filho, Dr.  
Paulo Henrique Mareze, Dr.  
William D'Andrea Fonseca, Dr.

### Pesquisa

Controle de ruído e vibrações  
Acústica arquitetônica  
Acústica das edificações  
Métodos computacionais  
Aeroacústica  
Psicoacústica  
Grupos de Pesquisa

### Laboratório e estrutura

#### Ensaio

Ensaio acústicos  
Caracterização dinâmica  
NBR 15575

#### Parcerias

#### Publicações

#### Links

#### Acesso Interno

#### Sitemap

Professores > Nilson Evilásio de Souza Filho, Dr. > Notas de Aula > Notas de Aula EAC1008 >

## Anexo D

### Anexo D - Síntese do Sax.

% O timbre do sax é escolhido pela função TimbreSax

function y=TimbreSax2(FS,Tamanho,FreqNota) % determina o timbre do sax.

N = Tamanho; % Número de amostra  
t = [0:N-1]/FS; % vetor de amostras

At = besselj(1,t).\*envelope(Tamanho,0.15,0.30); %Amplitude do sinal

% Dados da frequencia portadora  
fc = FreqNota; % frequência portadora  
alpha = 2.\*pi.\*fc.\*t;  
fi\_c = -pi/2; % fase da modulação

%Dados da frequencia de modulacao  
fm = FreqNota./2; %Frequência de modulação  
d = fc/1.8;  
h = fm/fc;  
beta = 2.\*pi.\*fm.\*t;  
fi\_m = -pi/2; % fase da modulação  
I0 =(d./fm); % Índice de modulação

y = At.\*cos(alpha + (I0.\*cos(beta+fi\_m)) + fi\_c);  
y = y./max(y);

end % Fim da Funcao TimbreSax

%------%  
% Melodia do sax

mel = [... %1 Entrada Batera

pminimap,pseminima,pseminima,...  
pminimap,pseminima,pseminima,...  
pminimap,pseminima,pseminima,...  
pminimap,pseminima,pseminima,...

...%5 Vamp Piano

pminimap,pseminima,pseminima,...  
pminimap,pseminima,pseminima,...  
pminimap,pseminima,pseminima,...  
pminimap,pseminima,pseminima,...

...%9 Entrada Baixo

pminimap,pseminima,pseminima,...  
pminimap,pseminima,pseminima,...  
pminimap,pseminima,pseminima,...  
pminimap,pseminima,pseminima,...

pminimap.Bb2\_seminima, TimbreSax2(FS,length(colcheia),f\_Bb2),

TimbreSax2(FS,length(colcheia),f\_Eb3),...  
...%13 A

TimbreSax2(FS,length(colcheia),f\_Gb3), TimbreSax2(FS,length(colcheia),f\_Ab3), TimbreSax2(FS,length(colcheia),f\_A3), TimbreSax2(FS,length(colcheia),f\_Bb3), TimbreSax2(FS,length(colcheia),f\_A3), TimbreSax2(FS,length(colcheia),f\_Ab3), TimbreSax2(FS,length(seminima),f\_Gb3), TimbreSax2(FS,length(seminima),f\_Bb2),...

TimbreSax2(FS,length(seminima),f\_Db3), TimbreSax2(FS,length(minimap),f\_Eb3), TimbreSax2(FS,length(semicolcheia),f\_F3), TimbreSax2(FS,length(semicolcheia),f\_Gb3), TimbreSax2(FS,length(semicolcheia),f\_F3), TimbreSax2(FS,length(semicolcheia),f\_Eb3),...

TimbreSax2(FS,length(seminima),f\_Db3), TimbreSax2(FS,length(minimap),f\_Eb3), TimbreSax2(FS,length(semicolcheia),f\_Db3), TimbreSax2(FS,length(semicolcheia),f\_Eb3), TimbreSax2(FS,length(semicolcheia),f\_Db3), TimbreSax2(FS,length(semicolcheia),f\_Bb2),...

TimbreSax2(FS,length(seminima),f\_Ab2), TimbreSax2(FS,length(minimap),f\_Bb2), TimbreSax2(FS,length(colcheia),f\_Bb2), TimbreSax2(FS,length(colcheia),f\_Eb3),...

TimbreSax2(FS,length(colcheia),f\_Gb3), TimbreSax2(FS,length(colcheia),f\_Ab3), TimbreSax2(FS,length(colcheia),f\_A3), TimbreSax2(FS,length(colcheia),f\_Bb3), TimbreSax2(FS,length(colcheia),f\_A3), TimbreSax2(FS,length(colcheia),f\_Ab3), TimbreSax2(FS,length(seminima),f\_Gb3), TimbreSax2(FS,length(seminima),f\_Bb2),...

TimbreSax2(FS,length(seminima),f\_Db3), TimbreSax2(FS,length(minimap),f\_Eb3), TimbreSax2(FS,length(semicolcheia),f\_Db3), TimbreSax2(FS,length(semicolcheia),f\_Eb3), TimbreSax2(FS,length(semicolcheia),f\_Db3), TimbreSax2(FS,length(semicolcheia),f\_Bb2),...

TimbreSax2(FS,length(seminima),f\_Ab2), TimbreSax2(FS,length(minimap),f\_Bb2), TimbreSax2(FS,length(semicolcheia),f\_F3), TimbreSax2(FS,length(semicolcheia),f\_Gb3), TimbreSax2(FS,length(semicolcheia),f\_F3), TimbreSax2(FS,length(semicolcheia),f\_Eb3),...

TimbreSax2(FS,length(seminima),f\_Db3), TimbreSax2(FS,length(minima2),f\_Eb3),...  
...%21 B

pseminima, TimbreSax2(FS,length(colcheia),f\_Eb4), TimbreSax2(FS,length(seminima),f\_Gb4), TimbreSax2(FS,length(colcheia),f\_Eb4), TimbreSax2(FS,length(seminima),f\_B3), TimbreSax2(FS,length(colcheia),f\_Ab3), TimbreSax2(FS,length(colcheia),f\_Bb3),...

TimbreSax2(FS,length(colcheia),f\_B3), TimbreSax2(FS,length(colcheia),f\_C4)

```

TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_Db4),TimbreSax2(FS,length(seminima),f_F4),TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_Ab3),...
f_Db4),TimbreSax2(FS,length(seminima),f_Bb3),TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_Gb3),TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_Ab3),...

TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_A3),TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_Bb3),TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_B3),
TimbreSax2(FS,length(seminima),f_Eb4),TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_B3),TimbreSax2(FS,length(seminima),f_Ab3),
TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_F3),TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_Gb3),...

TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_Ab3),TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_A3),TimbreSax2(FS,length(colcheia),
f_Bb3),TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_A3),TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_Bb3),TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_B3),
TimbreSax2(FS,length(seminima),f_Db4),TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_Db4),TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_C4),...

TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_Db4),TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_D4),TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_Eb4),
TimbreSax2(FS,length(seminima),f_Gb4),TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_Eb4),TimbreSax2(FS,length(seminima),f_B3),
TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_Ab3),TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_Bb3),...

TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_B3),TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_C4),
TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_Db4),TimbreSax2(FS,length(seminima),f_F4),TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_Db4),
TimbreSax2(FS,length(seminima),f_Bb3),TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_Gb3),TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_Ab3),...

TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_A3),TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_Bb3),TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_B3),
TimbreSax2(FS,length(seminima),f_Eb4),TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_B3),TimbreSax2(FS,length(seminima),f_Ab3),
TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_F3),TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_Ab3),...

TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_Db4),TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_B3),TimbreSax2(FS,length(minimap),f_Bb3),
TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_Bb2),TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_Eb3),... %29 A

TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_Gb3),TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_Ab3),TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_A3),
TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_Bb3),TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_A3),TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_Ab3),
TimbreSax2(FS,length(seminima),f_Gb3),TimbreSax2(FS,length(seminima),f_Bb2),...

TimbreSax2(FS,length(seminima),f_Db3),TimbreSax2(FS,length(minimap),f_Eb3),TimbreSax2(FS,length(semicolcheia),f_F3),
TimbreSax2(FS,length(semicolcheia),f_Gb3),TimbreSax2(FS,length(semicolcheia),f_F3),TimbreSax2(FS,length(semicolcheia),f_Eb3),...

TimbreSax2(FS,length(seminima),f_Db3),TimbreSax2(FS,length(minimap),f_Eb3),TimbreSax2(FS,length(semicolcheia),f_Db3),
TimbreSax2(FS,length(semicolcheia),f_Eb3),TimbreSax2(FS,length(semicolcheia),f_Db3),TimbreSax2(FS,length(semicolcheia),f_Bb2),...

TimbreSax2(FS,length(seminima),f_Ab2),TimbreSax2(FS,length(minimap),f_Bb2),TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_Bb2),
TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_Eb3),...

TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_Gb3),TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_Ab3),TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_A3),
TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_Bb3),TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_A3),TimbreSax2(FS,length(colcheia),f_Ab3),
TimbreSax2(FS,length(seminima),f_Gb3),TimbreSax2(FS,length(seminima),f_Bb2),...

TimbreSax2(FS,length(seminima),f_Db3),TimbreSax2(FS,length(minimap),f_Eb3),TimbreSax2(FS,length(semicolcheia),f_Db3),
TimbreSax2(FS,length(semicolcheia),f_Eb3),TimbreSax2(FS,length(semicolcheia),f_Db3),TimbreSax2(FS,length(semicolcheia),f_Bb2),...

TimbreSax2(FS,length(seminima),f_Ab2),TimbreSax2(FS,length(minimap),f_Bb2),TimbreSax2(FS,length(semicolcheia),f_F3),
TimbreSax2(FS,length(semicolcheia),f_Gb3),TimbreSax2(FS,length(semicolcheia),f_F3),TimbreSax2(FS,length(semicolcheia),f_Eb3),...
...%37 fim
pminimap];
    
```



Anexo\_D\_sax.mp3 (998k)

Marco Pinheiro, 26 de mar de 2015 16:01

v.1



### Comentários

Você não tem permissão para adicionar comentários.



## EAC1008 Música para Eng Acústica 2<sup>o</sup> Sem de 2013

Prof. Dr. Nilson Evilásio Souza Filho

### 1<sup>a</sup> Avaliação

- 1 - [0,50] Determine o período de uma oscilação com frequência de 500 Hz.
- 2 - [0,50] Determine a frequência de uma oscilação cujo período é 0,1 ms.
- 3 - Suponha um sinal co-sinusoidal definido a partir dos parâmetros:

$$A = 0,2m; \omega = 2\pi 50 \text{ rad/s}; f = 50 \text{ Hz}; \phi_0 = -0,5\pi.$$

- (a) [0,75] Trace a representação gráfica do sinal para os valores considerados;
- (b) [0,50] Trace a representação gráfica do sinal para  $f = 0$  Hz;
- (c) [0,75] Trace a representação gráfica do sinal para  $f = 200$  Hz.

4 - Suponha um sistema massa-mola que realiza um MHS. A elongação é dada por  $y = A \sin(\omega_0 t + \phi_0)$ .

- (a) [1,00] Determine a velocidade da massa;
- (b) [1,00] Determine a aceleração da massa;
- (c) [2,00] Esboce os gráficos de  $y(t)$ ,  $v(t)$ ,  $a(t)$ ,  $E_c(t)$ ,  $E_p(t)$  e  $E(y)$ .

5 - [3,00] Determine a frequência de ressonância do seu ressonador de Helmholtz.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA



## 2ª Prova de Música I para Eng. Acústica

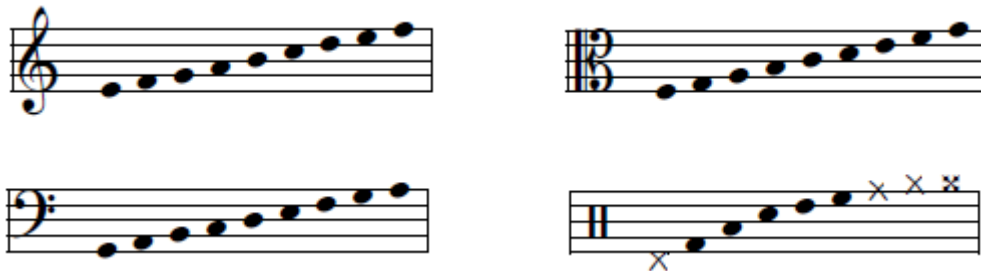
Prof. Nilson

1 – Esboce o gráfico da solução da equação de um oscilador harmônico amortecido para:

(a) O caso subcrítico ( $\gamma = 2\omega_0$ ); (b) Crítico ( $\gamma < 2\omega_0$ ) e; (c) Supercrítico ( $\gamma > 2\omega_0$ ).

2 – Quais são os possíveis comprimentos de onda de uma corda de comprimento  $L$ , fixa em cada extremidade? Qual é a frequência do modo  $n$ ? [2,00]

3 – Dê as notas correspondentes nas respectivas claves [1,00].



4 – Dada as frequências das notas e a representação gráfica das figuras (valores e duração):

f\_C1 = 65.40639133;  
f\_Db1 = 69.29565774;  
f\_D1 = 73.41619198;  
f\_Eb1 = 73.41619198;  
f\_E1 = 82.40688923;  
f\_F1 = 87.30705786;  
f\_Gb1 = 92.49860568;  
f\_G1 = 97.998859;  
f\_Ab1 = 103.8261744;  
f\_A1 = 110;  
f\_Bb1 = 116.5409404;  
f\_B1 = 123.4708253;  
f\_C2 = 130.8127827;  
f\_Db2 = 138.5913155;  
f\_D2 = 146.832384;  
f\_Eb2 = 155.5634919;  
f\_E2 = 164.8137785;  
f\_F2 = 174.6141157;  
f\_Gb2 = 184.9972114;  
f\_G2 = 195.997718;  
f\_Ab2 = 207.6523488;  
f\_A2 = 220;

f\_Bb2 = 233.0818808;  
f\_B2 = 246.9416506;  
f\_C3 = 261.6255653;  
f\_Db3 = 277.182631;  
f\_D3 = 293.6647679;  
f\_Eb3 = 311.1269837;  
f\_E3 = 329.6275569;  
f\_F3 = 349.2282314;  
f\_Gb3 = 369.9944227;  
f\_G3 = 391.995436;  
f\_Ab3 = 415.3046976;  
f\_A3 = 440;  
f\_Bb3 = 466.1637615;  
f\_B3 = 493.8833013;  
f\_C4 = 523.2511306;  
f\_Db4 = 554.365262;  
f\_D4 = 587.3295358;  
f\_Eb4 = 622.2539674;  
f\_E4 = 659.2551138;  
f\_F4 = 698.4564629;  
f\_Gb4 = 739.9888454;  
f\_G4 = 783.990872;  
f\_Ab4 = 830.6093952;  
f\_A4 = 880;

f\_Bb4 = 932.327523;  
f\_B4 = 987.7666025;  
f\_Db5 = 1108.730524;  
f\_Eb5 = 1244.507935;  
f\_Ab5 = 1567.981744;

Figure	Name	Pause	Duration
	Half	—	1/2
	Quarter	¼	1/4
	Eighth	⅛	1/8
	Sixteenth	⅙	1/16
	Thirtysecond	⅓	1/32

Escreva um pseudo código *Matlab* (e explique) para tocar os seguintes trechos:

(a) Contra-baixo [0,50];



(b) Bateria [1,50];



(c) Piano [1,00];



(d) Saxofone alto [2,00]

